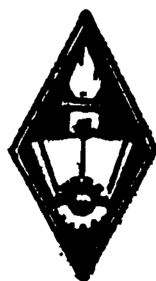
VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

А. Н. БАРДИН

СБОРКА И ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебного пособия для студентов
приборостроительных специальностей вузов



ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ВЫСШАЯ ШКОЛА»
Москва — 1968

6 П5 85
Б—247
УДК 681.4

Сборка и юстировка оптических приборов. А. Н. Бардин. «Высшая школа», 1967, стр. 328.

В книге освещаются основные вопросы теории и практики процессов сборки и юстировки оптических приборов. Рассматриваются назначение и сущность этих процессов, их элементы, терминология, а также связь сборочного процесса с конструкцией прибора, технологией изготовления его деталей и контрольной аппаратурой. Разбираются основные зависимости между свойствами приборов, точностью изготовления их деталей и точностью их сборки, а также методы контроля этих свойств. Дается описание типовых сборочных работ, сборки и юстировки типовых узлов приборов и самих приборов различных типов. Кратко излагаются вопросы организации работы в сборочных цехах.

Учебное пособие предназначено для студентов приборостроительных специальностей. Может быть полезно широкому кругу лиц, работающих в оптической промышленности, связанных с проектированием, изготовлением, сборкой и ремонтом оптических приборов.

Рисунков 180, таблиц 12, библиографий 13.

Рецензенты:

Инженер *Е. П. Крюкова*

Инженер *С. К. Штандель*

Кафедра оптико-механических приборов ЛИТМО

3—13—6
89—67

Предисловие

Литература по сборке и юстировке оптических приборов сравнительно небогата и состоит из немногочисленных монографий и журнальных статей, посвященных сборке или юстировке приборов определенного назначения [1, 5, 13].

Книги, систематически освещающей основы теории сборки и юстировки типовых оптических приборов, еще не существует, что затрудняет обучение студентов соответствующих учебных заведений и работу производственников.

В учебном пособии для техникумов А. Г. Пера [10] впервые делается попытка дать методическое освещение процессов сборки, юстировки и контроля телескопических приборов и микроскопов. Однако в этой книге автор акцентировал внимание главным образом на сборке узлов приборов. Технология собственно сборки зрительных труб, микроскопов и других приборов практически не освещена; не вскрываются причины, влияющие на то или иное свойство прибора при его сборке, и не указываются средства устранения сборочных неполадок.

Поскольку основной задачей сборки любого прибора является обеспечение его свойств по техническим условиям, в данной книге в первую очередь (гл. II) подробно рассмотрены факторы, влияющие на основные свойства оптических приборов, указаны методы контроля этих свойств и способы достижения их значений. Усвоив материал этой главы, сборщик сможет вести процесс сознательно в определенном направлении, избегая многочисленных, а порой и трудоемких регулировок «наудачу».

В других главах пособия рассматриваются технология сборки типовых узлов оптических приборов и сборка самих приборов различного назначения. Сборочные процессы описываются в основном в порядке возрастающей сложности приборов — коллиматоры, простые зрительные трубы, трубы с оборачивающей системой и т. д., вплоть до весьма сложных в юстировке приборов, каковыми являются, например, спектральные приборы.

Книга посвящена важнейшей части сборочного процесса — *оптической сборке*. Механическая сборка описывается

лишь в тех случаях, когда она имеет существенное значение для сборки прибора, например при сборке трубы теодолита, микроскопов, панорамы.

Имея в виду, что почти каждый прибор может юстироваться различными способами, описываемые в данной работе методы юстировки не являются обязательными и могут видоизменяться в зависимости от конкретных условий. Изложенные сведения по сборке и юстировке не являются ни подробной технологией, ни, конечно, инструкциями для работы в цехе.

В книге мало уделено внимания вопросам организации процесса сборки, а также некоторым простейшим сборочным работам — смазке, чистке деталей, поскольку эти сведения студент может получить на производственной практике в соответствующих сборочных цехах.

Ограниченный объем пособия не позволил рассмотреть в полной мере в гл. II численные примеры расчета соответствующих допусков. Автор считает, что этот важный вопрос давно требует выпуска специальной монографии.

В настоящее же время по данному вопросу можно рекомендовать гл. X «Справочника конструктора оптико-механических приборов», Машгиз, 1963.

Настоящая работа задумана как учебное пособие для студентов вузов и по содержанию соответствует программам соответствующих курсов, изучаемых на приборостроительных факультетах (ЛИТМО, МВТУ, МИИГАиК, ВЗМИ, СЗПИ). Кроме того, пособие может быть использовано учащимися приборостроительных техникумов и производственниками оптической промышленности.

Курс «Сборка и юстировка оптических приборов» еще недостаточно отработан по содержанию программы: некоторые термины и понятия дискуссионны. Все это, очевидно, отразится на содержании данной книги.

Однако автор, не предполагая исчерпывающе осветить весьма сложный вопрос технологии сборки и юстировки оптических приборов, все же надеется, что данная работа и в ее настоящем виде окажет пользу студентам и производственникам.

Автор весьма благодарен рецензентам, а также М. М. Русинову, Г. В. Погареву, И. И. Пахомову и В. И. Душину за ценные замечания по содержанию книги.

Автор

Введение

Предметом данного курса являются закономерности процесса сборки и юстировки оптических приборов при их производстве.

Основу курса составляют зависимости между основными свойствами прибора, точностью изготовления его оптических и механических деталей и точностью их сборки. Кроме того, в курсе рассматриваются методы контроля свойств приборов, юстировочная аппаратура, способы сборки и юстировки типовых узлов приборов, а также самих приборов различного назначения. Помимо этого, в пособии рассматривается связь между конструкцией прибора, технологией изготовления его деталей и технологией сборки; даются описания вспомогательных операций сборочного процесса (чистка, промывка деталей, их смазка и др.) и организации сборочных работ в цехе.

Содержание курса базируется на ряде специальных дисциплин — геометрической и физической оптике, оптических измерениях, технологии изготовления оптических и механических деталей; большинство этих дисциплин изучается студентами до или одновременно с курсом сборки и юстировки.

Сборка и юстировка оптических приборов являются завершающим этапом их производства. Этот процесс весьма важен, так как от его проведения зависят качество выпускаемых приборов, их стоимость и производительность труда при сборке.

Закономерности сборки и юстировки приборов должны быть известны не только лицам, выполняющим этот процесс, но и конструкторам, которые при разработке приборов должны предусмотреть возможность проведения эффективного сборочного процесса.

Впервые курс начал читаться в ЛИТМО в начале тридцатых годов. Создателем этого курса явился один из основоположников отечественного оптического производства проф. С. И. Фрейберг. В дальнейшем курс развивался и в других учебных заведениях, совершенствуясь с развитием оптического приборостроения.

Основы методики сборки фотообъективов и расчета допусков на их элементы разработаны еще в 30-х гг. одним из крупнейших специалистов оптического производства И. А. Шошиным. Методика сборки микрообъективов создана акад. В. П. Линником. Теория сборки сложнейших оптических приборов — дальномеров и интерферометров — развита выдающимся ученым проф. А. Н. Захарьевским [5]. Основы методов расчета допусков на сложные зеркальные и призменные системы заложены в трудах крупнейшего советского ученого-оптотехника чл.-корр. АН СССР А. И. Тудоровского. Закономерности сборки призм и зеркал развиты в дальнейшем И. В. Лебедевым, Г. Е. Скворцовым [11] и особенно глубоко Г. В. Погаревым [8÷9]. Теория юстировки спектральных приборов базируется на трудах проф. В. К. Прокофьева. А. Г. Бартеневым разработаны основы юстировки и выверки коллиматоров [3]. В работах Б. С. Гришина [4] освещены основы юстировки геодезических приборов. Основы теории сборки и юстировки современных дальномеров даны С. А. Сухопаровым.

В настоящее время технология сборочного процесса достигла высокого уровня, позволяя отечественной оптической промышленности выпускать все виды современных оптических приборов отличного качества. Основные задачи, стоящие перед данной технологией, заключаются в ее автоматизации при массовом выпуске продукции.

Глава I
СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССОВ СБОРКИ И ЮСТИРОВКИ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

§ 1. Назначение сборочного процесса и его основные этапы. Сборочные элементы приборов

Основные этапы процесса создания любого прибора следующие: 1) конструирование прибора по заданным техническим условиям; 2) изготовление деталей прибора с определенной точностью; 3) сборка деталей в готовый прибор, отвечающий техническим требованиям; 4) контроль свойств прибора.

Все перечисленные этапы взаимосвязаны. Последние два этапа, являющиеся завершающими, окончательно обеспечивают требуемые свойства прибора. На этих же этапах обнаруживаются дефекты, допущенные ранее при конструировании прибора и в процессе изготовления деталей, и здесь же они устраняются.

Прибором называется устройство, имеющее определенную конструкцию и эксплуатационное назначение, состоящее из соединенных между собой деталей, звеньев, кинематических пар и узлов.

Деталью прибора называется часть его, изготовленная из материала как одно целое в соответствии с чертежом и не соединенная с другими деталями.

Звено — совокупность деталей, неподвижно соединенных между собой.

Кинематической парой называется совокупность деталей и звеньев, подвижно соединенных между собой так, что движение одних предопределяет движение других.

Узел, или сборка, или группа — совокупность деталей, звеньев и кинематических пар, соединенных между собой и имеющих определенное назначение в приборе.

На заводах, выпускающих оптические приборы, как правило, не пользуются терминами «звено» и «кинематическая пара», а применяют понятия «узел», или «сборка», имея в виду совокупность любых деталей, соединенных тем или иным способом. Эта терминология принята и в данной работе.

Детали должны обладать геометрической формой, размерами и качеством поверхностей. При сборке узлов необходимо обеспечить их специфические свойства. Так, например, сборка

объектива, склеенного из двух линз, должна обеспечивать определенную точность центрировки объектива в его оправе, а сборка объектива с воздушными промежутками между линзами — оптическую силу (или фокусное расстояние) объектива. Эти свойства контролируются при сборке.

Сборочным процессом называется соединение деталей в узлы и далее в прибор, отвечающий установленным требованиям.

Операцией процесса сборки называется часть его, выполняемая над одной сборочной единицей одним рабочим (или группой рабочих) непрерывно и на одном рабочем месте. Операция является основным элементом сборочного процесса и основной единицей производственного планирования.

Переходом называется часть операции, выполняемая над одним определенным соединением при использовании одних и тех же инструментов и приспособлений — это самая малая часть процесса сборки.

В процессе сборки прибора большое значение имеют сборочные базы, являющиеся элементами, позволяющими правильно расположить относительно друг друга собираемые детали и узлы.

Сборочной базой детали называется ее поверхность, которая определяет положение детали относительно других, составляющих данный узел.

Сборочной базой узла называется его поверхность или линия (например, оптическая или визирная ось), которая определяет положение узла относительно других узлов и сборочной базы всего прибора.

Сборочная база прибора связывает сборочные узлы и детали в одно целое — готовый прибор — путем сопряжения базовых элементов узлов и деталей с базовыми поверхностями прибора. Очевидно, все детали и узлы должны иметь свои сборочные базы.

Базовой деталью называется деталь узла, с которой начинается его сборка. Аналогичным образом определяется и базовый узел.

Все базы деталей и узлов, изготовленных из металла, называются механическими сборочными базами и должны обеспечивать правильную работу механической части конструкции.

Оптические детали имеют механические и оптические сборочные базы.

Механической сборочной базой оптической детали называется ее поверхность или линия, определяющая ее положение относительно механической (металлической) детали, например оправы.

Оптическую сборочную базу оптических деталей и узлов представляют собой их элементы, взаимное положение

которых определяет ход лучей в оптической системе и в конечном итоге оптические свойства узла или прибора.

Оптическими сборочными базами являются поверхности и линии оптических деталей (плоскости и ребра зеркал и призм, поверхности линз), а также нематериальные их параметры (главные и фокальные плоскости линз, узловые точки и фокусы линз, оптическая и визирная оси, главное сечение призм).

Эти абстрактные элементы оптических деталей и узлов связаны определенными зависимостями с оптическими и механическими деталями, позволяющими выполнять сборочные операции. Так, например, положения фокусов линзы связаны материально с линзой величинами отрезков от фокусов до поверхностей линзы, а с механическими сборочными базами — определенными расстояниями; положение оптической оси линзы находится по изображению объекта или вращением линзы; положение фокальной плоскости обнаруживается по изображению удаленного объекта.

Некоторые оптические детали, например защитные стекла, имеют только механическую сборочную базу при сборке ее с оправой. Однако в большинстве случаев оптические детали имеют и механическую и оптическую сборочные базы, которые должны быть определенным образом согласованы. Так, всякая линза имеет механическую сборочную базу — ее диаметр (равноудаленный от геометрической оси линзы) и оптическую базу — оптическую ось (проходящую через центры кривизны поверхностей линзы).

При центрировке линзы согласование обеих баз заключается в совмещении геометрической и оптической осей; при сборке линзы в оправе оптическая ось линзы (оптическая база) совмещается с геометрической осью оправы в пределах зазора между линзой и оправой (механическая база).

Сборка узлов и всего прибора ведется на основании сборочных чертежей (или эскизов), обусловливающих взаимное положение деталей и узлов.

Должна быть также разработана последовательность отдельных операций сборки узлов и прибора в целом, т. е. технология сборочного процесса, а также необходимые приспособления (оснастка) и контрольно-юстировочная аппаратура.

Нужные свойства прибора, обусловленные техническими условиями, выдерживаются в процессе сборки правильным взаимным расположением жестко закрепляемых деталей и узлов, характером и величиной движений деталей (и узлов), перемещающихся в процессе работы прибора.

Эту задачу можно выполнить двумя основными путями:

1. Свойства приборов массового выпуска со сравнительно невысокими требованиями к их работе обеспечиваются взаи-

мозаменяемостью деталей, достигаемой соответствующим выбором достаточно жестких допусков на точность обработки деталей и выдерживанием их в цехах.

Однако применение такого метода сборки к производству ответственных узлов и приборов с высокими требованиями к их работе приводит к установлению достаточно узких допусков как на точность изготовления соответствующих деталей, так и на точность сборки. Это осложняет производство и удорожает продукцию.

2. При мелкосерийном и индивидуальном производстве целесообразно добиваться нужных свойств узлов или прибора при сравнительно широких допусках на изготовление деталей и их сборку путем взаимного перемещения и поворотов некоторых деталей в процессе сборки. Такая часть сборочного процесса, заключающаяся в приведении узла или прибора в состояние, при котором обеспечиваются их заданные по техническим условиям свойства, называется регулировкой, или юстировкой. Чаще термин «регулировка» относят к отладке механических узлов, а «юстировка» — к отладке оптических узлов.

Юстировочные операции выполняются следующими основными способами: 1) при помощи специальных механизмов (или деталей прибора); 2) пригонкой некоторых механических деталей по месту путем снятия стружки; 3) при помощи дополнительных прокладок; 4) комплектовкой деталей или узлов по группам в пределах выбранной точности какого-либо конструктивного параметра (так называемая селективная сборка).

Примерами юстировок первого вида могут служить исправления положений визирной оси прибора при помощи эксцентриковых устройств оправ объектива, винтов или втулок, крепящих призму и позволяющих ее перемещать.

К юстировкам второго вида относятся, например, обеспечение воздушных промежутков между линзами объектива d с точностью до $\pm 0{,}01$ путем подрезки высоты d_1 прокладочных колец (см. рис. 1, *в*), выдерживание рабочего отрезка фото- или микрообъектива с точностью 0,02 путем подрезки торца оправы объектива, а также подрезки колец при устранении параллакса изображения.

Юстировка при помощи прокладок применяется обычно при исправлении наклона изображения путем разворота призм прокладками (например, при сборке биноклей, § 48), а также для устранения параллакса.

Примером юстировки четвертого вида может служить подбор высот d_1 промежуточных колец объективов (рис. 1, *в*), параллаксных колец или оправ объективов с соответствующими толщинами их фланцев. К этому способу относится и подбор объективов с фокусными расстояниями в пределах определен-

ных значений, широко применяемый, например, при сборке бинокулярных приборов.

Сборка и юстировка узлов и прибора осуществляются при помощи специального оборудования в сборочных цехах заводов. Выполнение этих операций в полевых условиях недопустимо, так как легко может привести к порче прибора.

Некоторые типы приборов, обычно используемые в полевых условиях, когда возможны сотрясения прибора, действие низких и высоких температур и др., для обеспечения нормального их действия должны обязательно регулироваться перед началом работы при помощи специальных механизмов прибора. Такие операции называются выверкой. В качестве примеров можно указать на выверку по дальности и высоте дальномеров и известные выверки геодезических инструментов.

Для оценки правильности сборки и юстировки узлов и всего прибора производится контроль их свойств и работы при помощи контрольно-юстировочных приборов.

В зависимости от вида материалов собираемых деталей сборка разделяется на механическую и оптическую. Сборка деталей из металлов называется механической сборкой; соединение оптических деталей с металлическими — оптической сборкой. Каждая из этих сборок проводится на определенных участках сборочного цеха. В большинстве случаев узлы оптической сборки обеспечивают какие-либо оптические свойства узла. Так, например, при закреплении линз в оправах обеспечивается требуемая точность совмещения оптической оси линзы с осью оправы. При сборке призм выдерживают допустимый угол наклона изображения.

По назначению сборочный процесс разделяется на предварительную и окончательную сборки. К предварительной сборке относятся узлы механической и оптической сборок. Окончательная сборка представляет собой процесс соединения механических и оптических сборок в готовый прибор. Указанная терминология в известной степени условна. Так, сборку сложных объективов приборов, состоящих из первичных оптических и механических узлов, часто называют окончательной сборкой объектива, поскольку после этой сборки должны быть выдержаны все его важнейшие свойства.

§ 2. Связь технологии сборочного процесса с конструкцией приборов, технологией изготовления его деталей и контрольной аппаратурой

Возможность проведения рационального сборочного процесса, юстировок и контроля прибора должна быть предусмотрена при конструировании прибора. Необходимо предусмотреть технологичность изготовления механических и оптических деталей

и технологичность сборочного процесса. Конструкция прибора должна состоять из ряда первичных узлов, которые было бы удобно собирать и контролировать. Взаимное расположение узлов должно позволить вести сборочный процесс всего прибора без повторных разборок, удлиняющих сборочный процесс и ухудшающих качество прибора. Конструктор прибора должен либо хорошо знать технологию изготовления деталей и технологию их сборки, либо привлекать к своей работе для консультации опытных технологов.

При сборке и юстировке отдельных узлов или всего прибора конструкция их должна позволять проводить эти регулировки, например раздвигать или поворачивать призмы или линзы. Должна быть обеспечена простота юстировок, а также их независимость друг от друга. При отсутствии в приборе юстировочных устройств приходится проводить припиловку или подточку механических деталей или применять дополнительные, не предусмотренные чертежом прокладки — компенсаторы, что снижает устойчивость прибора к различным сотрясениям в процессе эксплуатации.

При выборе формы деталей и материала для их изготовления и способа обработки необходимо иметь в виду оборудование цехов, достижимые точности обработки на этом оборудовании и возможности контроля изготовления деталей. Узкие допуски на обработку деталей и их сборку следует назначать, как правило, для производства высокоточных ответственных деталей.

Цехи изготовления деталей приборов должны обеспечивать предусмотренную чертежами точность обработки. Совершенно недопустимы еще встречающиеся на производстве случаи доделок деталей в сборочных цехах.

Технология сборки должна быть разработана и доведена до сборочного цеха задолго до начала сборочного процесса, чтобы цех мог своевременно подготовиться к нему. При невозможности заблаговременно разработать и спустить в сборочный цех технологию сборки, как это бывает в большинстве случаев при изготовлении опытных приборов, для организации рационального сборочного процесса необходим тщательный инструктаж сборщиков цеха технологом и конструктором прибора.

При невыполнении этих условий сборка идет «вслепую», неминуема вынужденная разборка и повторная сборка узлов, что влечет за собой ухудшение качества прибора, существенное удлинение срока выпуска прибора и зачастую неправильную, заниженную оценку качества конструкции нового прибора.

До начала сборки прибора должны быть спроектированы и изготовлены контрольно-юстировочные приборы и приспособления как для проверки узлов, так и самого прибора. Должна быть также разработана методика контроля.

Глава II

ЗАВИСИМОСТЬ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ОТ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ТОЧНОСТИ СБОРКИ. МЕТОДЫ ИХ КОНТРОЛЯ

§ 3. Типы оптических приборов и их основные свойства

Оптические (оптико-механические) приборы отличаются от приборов других групп тем, что имеют *оптическую систему,* определяющую обычно важнейшие свойства приборов этого вида.

Оптические приборы весьма разнообразны по конструкции и пока еще не имеют строгой классификации.

В большинстве случаев приборы разделяются на группы, объединенные по принципу их действия и общности решаемых задач, а именно: телескопические приборы, микроскопы, фотографические аппараты, проекционные приборы, киносъемочная аппаратура, осветительная аппаратура, приборы фотометрические и колориметрические, поляризационные, интерференционные, спектральные, медицинские и др.

Широко применяются приборы смешанного типа, использующие принципы действия различных групп приборов, например фотокинотеодолиты, микропроекторы, стереопроекторы, спектрофотографы, микрофотометры, интерференционные и поляризационные микроскопы, микроскопы, снабженные фото- и проекционными устройствами, и др.

В настоящее время быстро развиваются оптико-электронные приборы, существенно отличающиеся от оптико-механических приборов (в данной работе не рассматриваются).

Обычно все свойства оптических приборов делятся на две основные группы: оптические и конструктивные. Численные значения этих свойств указываются в технических условиях или требованиях, предъявляемых к приборам. Оптические свойства в большинстве случаев являются важнейшими и обусловлены действием оптической системы прибора.

Общими оптическими свойствами всех приборов, работающих совместно с глазом (визуальные приборы), являются: 1) видимое увеличение; 2) поле зрения; 3) диаметр выходного зрачка; 4) расстояние от последней поверхности окуляра до выходного зрачка; 5) разрешающая сила; 6) качество изо-

бражения. Должна быть обеспечена центрировка оптической системы прибора.

Помимо указанных общих оптических свойств приборов, многие из них имеют специфические оптические свойства, обусловленные их конструкцией и действием. Например, для приборов, имеющих установку окуляра по глазу и фокусировку на близкий предмет, указываются пределы фокусировки окуляра или прибора.

В технических условиях на приборы с неподвижными зеркалами или призмами оговаривается значение допустимого наклона изображения, а для приборов с качающимися и вращающимися зеркалами или призмами указывается допустимое смещение — увод визирной оси, вызываемое этими деталями.

Если в плоскости полевой диафрагмы приборов имеется сетка, с плоскостью которой должно совпадать изображение объекта, то в технических условиях задаются допуски на параллакс сетки и изображения, разворот сетки и смещение визирной оси (децентрировка).

Для бинокулярных приборов большое значение имеют параллельность оптических осей их труб, допустимая величина различия значений увеличений обеих труб, их параллаксов и наклонов изображений.

Для приборов с большими светопотерями указываются допустимые значения коэффициентов светорассеяния, светопоглощения и светопропускания.

Для фотометрических и колориметрических приборов должно быть выдержано постоянство световых потоков в измерительной и компенсационной ветвях прибора; в поляризационных приборах обеспечивается заданный угол между плоскостями поляризации анализатора и поляризатора; в интерференционных — их рабочее или исходное положение, характеризующееся определенным видом интерференционной картины в поле зрения, и т. д.

Общие оптические свойства **фото- и кинопроекционной** аппаратуры характеризуются главным образом данными ее объективов: 1) относительным отверстием; 2) фокусным расстоянием объектива; 3) полем зрения, или размерами снимка или кадра; 4) разрешающей силой и качеством изображения; 5) освещенностью экрана или кадра. Задаются допуски на значения рабочих отрезков объективов и камер аппаратов, работу дальномеров; в зеркальных фотоаппаратах оговаривается допуск на параллакс изображения и матового стекла; в проекционных приборах должно быть обеспечено значение поперечного увеличения и т. п.

В группу конструктивных требований входят значения свойств прибора, зависящих от действия механических или электрических деталей и узлов, пределы измерения углов и

точность их отсчетов; точность наводки на цель; расстояние между осями окуляров и объективов бинокулярных приборов; значение перископичности; цена деления шкалы; габаритные размеры прибора и его вес и др.

Для приборов, работающих в полевых условиях, оговаривается герметичность прибора по отношению к влаге и пыли, устойчивость прибора к тряске, низким и высоким температурам.

Указанные свойства приборов обеспечиваются в процессе их проектирования конструкцией прибора, выбором допусков на точность изготовления деталей и точность их сборки и в конечном итоге правильно проведенным сборочным процессом.

Для решения всех этих задач необходимо понимать связь между свойствами приборов и факторами, влияющими на них. В первую очередь к ним относятся точность изготовления оптических деталей, а также их взаимные повороты и смещения в процессе сборки.

Сборщик должен уметь проверить значение того или иного свойства узла и прибора и, если оно выходит за пределы допуска, найти причину и устранить ее.

§ 4. Поперечное и видимое увеличения. Основные зависимости

Поперечное увеличение β оптической системы связано с действием фото-, проекционных и микрообъективов, а также оборачивающих систем телескопических приборов.

Из геометрической оптики известно, что

$$\beta = \frac{l'}{l} = \frac{x'}{f'} = \frac{f}{x} = \frac{a'}{a}, \qquad (1)$$

где l' и l — величина изображения и предмета соответственно (рис. 1, *а*).

Из формулы (1) видно, что β зависит от точности фокусного расстояния f' оптической системы.

Для объектива, склеенного из двух линз (рис. 1, *б*), значение f' зависит главным образом от точности выдерживания значений радиусов r кривизны поверхностей линз и в меньшей степени от их толщин d и показателей преломления n, что видно из формулы для фокусного расстояния одиночной линзы:

$$\frac{1}{f'} = (n-1)\cdot\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{d\,(n-1)^2}{n r_1 r_2}. \qquad (2)$$

Для систем, имеющих воздушные промежутки d между линзами (рис. 1, *в*), значение фокусного расстояния системы можно выдерживать в известных пределах путем изменения их проме-

жутков, что видно из формулы для двухкомпонентного объектива:

$$\Phi_c = \Phi_1 + \Phi_2 - \delta\Phi_1\Phi_2, \quad (3)$$

где δ — расстояние между главными плоскостями систем Φ_1 и Φ_2.

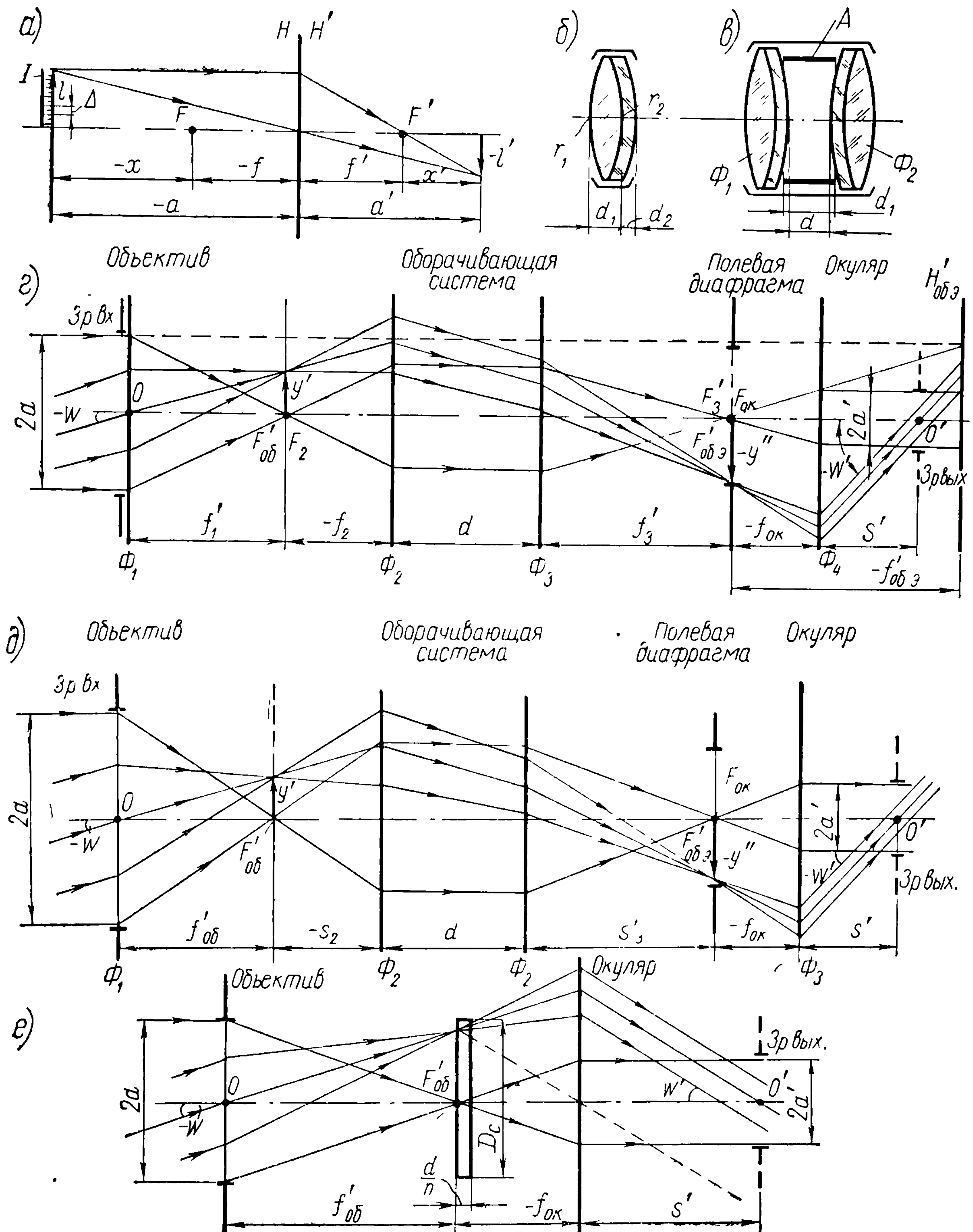


Рис. 1

Это достигается изменением высоты d_1 промежуточного кольца A путем его подрезки либо замены, а в некоторых объективах (например, дальномеров) — путем регулирования воздушного промежутка d при помощи специального устройства.

В многолинзовых объективах можно обеспечить значение f' не только за счет точности изготовления конструктивных параметров составляющих объективов линз, но и путем комплектовки их с взаимной компенсацией ошибок в отдельных параметрах деталей (в основном воздушных промежутков между линзами), что и находит широкое применение при сборке фото- и микрообъективов (см. § 31).

Для оборачивающей системы с параллельным ходом лучей между ее компонентами (рис. 1, *г*)

$$\beta_{об.\ с} = -\frac{f'_3}{f'_2}, \tag{4}$$

т. е. зависит от точности значений фокусных расстояний компонентов системы и не зависит от расстояния d между ними.

Логарифмируя и дифференцируя (4), получим формулу, позволяющую определить ошибку увеличения в зависимости от неточностей значений f_3' и f_2:

$$\frac{d\beta}{\beta} = \frac{df'_3}{f'_3} + \frac{df'_2}{f'_2}*. \tag{5}$$

В оборачивающей системе с непараллельным ходом лучей (рис. 1, *д*)

$$\beta_{об.\ с} = -\frac{s'_3}{s_2}; \tag{6}$$

$$\frac{1}{s'_3} - \frac{1}{s_2} = \frac{1}{f'_{об.\ с}}; \tag{7}$$

$$\Phi_{об.\ с} = \frac{1}{f'_{об.\ с}} = \Phi_2 + \Phi_3 - d\Phi_2\Phi_3. \tag{8}$$

Из формулы (8) следует, что $\beta_{об.с}$ зависит не только от значений фокусных расстояний компонентов, но и от значения воздушного промежутка d между ними, т. е. при заданных f_2' и f_3' можно добиться нужного $\beta_{об.с}$ путем изменения d, что и делается при сборке (см. § 29).

Видимое увеличение Г телескопических приборов определяется по известной формуле

$$\Gamma = \gamma_{зр} = \frac{1}{\beta_{зр}} = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}} = \frac{2a}{2a'} = \frac{\operatorname{tg} 2W'}{\operatorname{tg} 2W} \text{ (рис. 1, } e\text{)}, \tag{9}$$

* Знак «+» берется для худшего случая, когда погрешности могут сложиться.

в которой $\gamma_{зр}$ и $\beta_{зр}$ — соответственно угловое и поперечное увеличения в зрачках систем;

$2a$ — диаметр зрачка входа;

$2a'$ — диаметр зрачка выхода;

$2W$ — угол поля зрения в пространстве объектов;

$2W'$ — угол поля зрения в пространстве изображений;

$f'_{об}$ — заднее фокусное расстояние объектива;

$f'_{ок}$ — заднее фокусное расстояние окуляра.

Логарифмируя и дифференцируя равенство

$$\Gamma = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}}, \tag{10}$$

получим для ошибки $d\Gamma$ формулу, аналогичную (5).

Для труб с оборачивающими системами (рис. 1, *г* и *д*) фокусное расстояние $f'_{об}$ в формуле (10) является эквивалентным фокусным расстоянием $f'_{об.\,э}$ системы объектив плюс оборачивающая система. Однако при сборке для определения ошибки видимого увеличения трубы удобнее пользоваться формулой

$$\Gamma = -\frac{f'_{об}}{f'_{ок}}\beta_{об.\,с}, \tag{11}$$

где $\beta_{об.с}$ — поперечное увеличение оборачивающей системы.

Тогда для трубы с параллельным ходом в оборачивающей системе

$$\Gamma = \frac{f'_{об}}{f'_{ок}}\cdot\frac{f'_3}{f'_2}, \tag{12}$$

а для трубы с непараллельным ходом

$$\Gamma = \frac{f'_{об}}{f'_{ок}}\cdot\frac{s'_3}{s_2}. \tag{13}$$

Для системы микроскопа (рис. 2, *а*) видимое увеличение определяется по формуле

$$\Gamma = -\beta_{об}\cdot\bar{\Gamma}_{ок} = -\frac{\Delta}{f'_{об}}\cdot\frac{250}{f'_{ок}}, \tag{14}$$

где Δ — оптический интервал системы.

Следовательно, ошибка увеличения будет зависеть опять-таки от точности фокусных расстояний объектива и окуляра, а

также от точности выдерживания отрезка Δ. Довольно часто исправление значения увеличения достигается корректировкой отрезка Δ путем изменения длины тубуса *l* его подрезкой (см. рис. 67, *а*). Однако делать это можно лишь в небольших пределах, иначе ухудшается качество изображения.

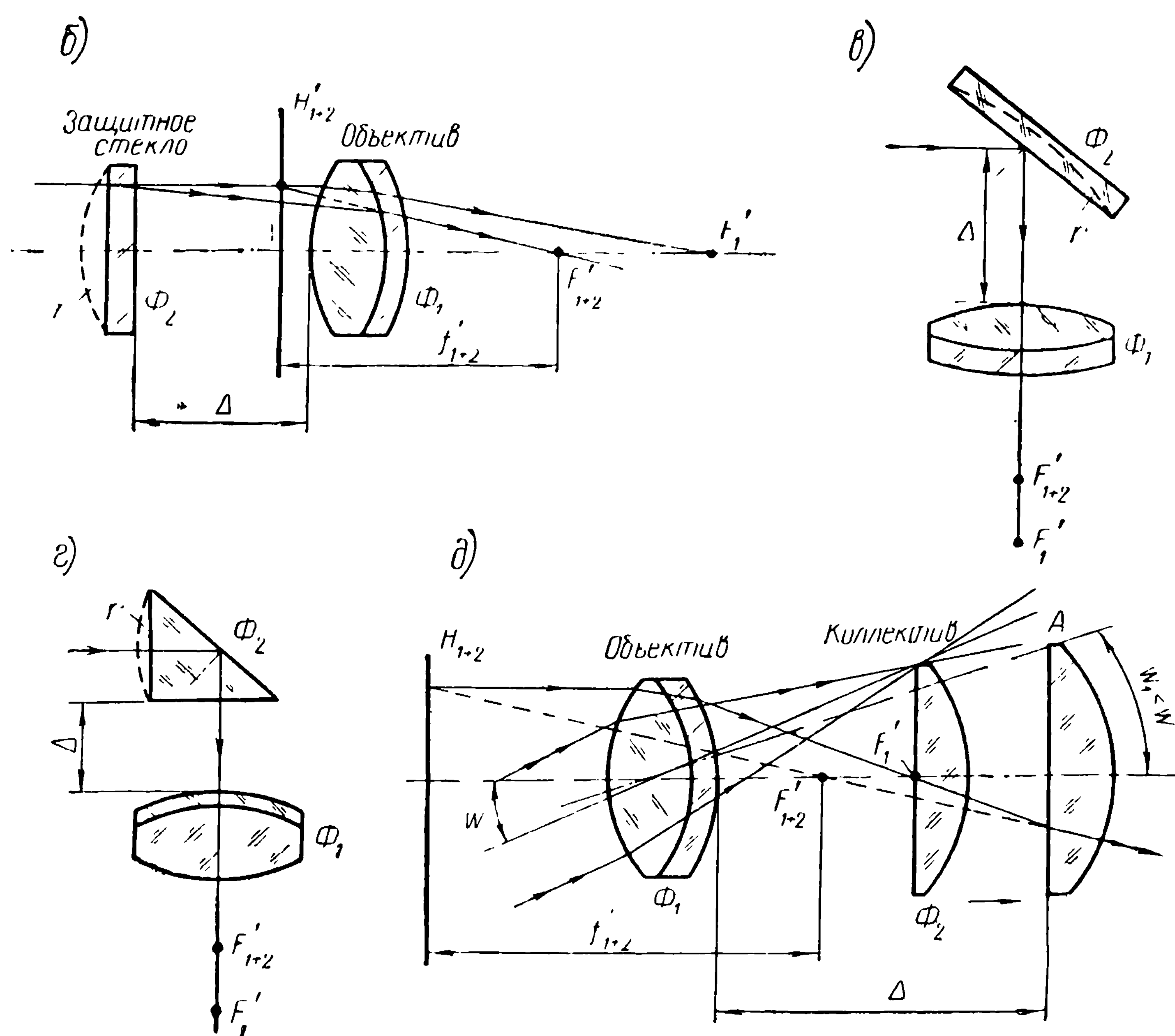


Рис. 2

Помимо рассмотренных причин, влияющих на видимое увеличение оптической системы, следует указать и другие: 1) сферичность *r* плоскостей защитного стекла (рис. 2, *б*), зеркала (рис. 2, *в*) или призм (рис. 2, *г*), полученная при их обработке; 2) смещение коллектива при сборке относительно фокальной плоскости F_1' объектива (рис. 2, *д*). Во всех указанных слу-

чаях вместо одного объектива Φ_1 будем иметь сложную систему $\Phi_c = \Phi_1 + \Phi_2 - \Delta\Phi_1\Phi_2$, где Φ_2 — соответственно оптическая сила линзы защитного стекла, зеркала, призмы или коллектива, а Δ — расстояние между объективом Φ_1 и указанными компонентами.

На рис. 2, *б, в, г, д* показаны в качестве примера положения заднего фокуса F_1' объектива и заднего фокуса F'_{1+2} системы Φ_c, а также положения задних главных плоскостей H'_{1+2} эквивалентной системы.

При сборке детали с указанными дефектами заменяются, а коллектив перемещается в соответствующую фокальную плоскость.

Для обычных зрительных труб df' выдерживается с точностью до 1%, что позволяет иметь $\frac{d\Gamma}{\Gamma}$ в пределах до 5%. Поэтому допуск на увеличение большинства зрительных труб обеспечивается легко. Для микроскопов, не связанных с измерениями, допуск на видимое увеличение может быть такого же порядка. Для измерительных микроскопов допуски на увеличение должны быть установлены с учетом точности выполняемых измерений; они значительно строже указанных.

Контроль видимого увеличения телескопических приборов

Из формулы (9) видно, что проконтролировать значение видимого увеличения прибора можно, используя различные параметры его оптической системы: фокусные расстояния, диаметры зрачков, углы полей зрения. Однако проверить величину увеличения системы по отношению фокусных длин объектива и окуляра, когда прибор уже собран, практически невозможно, так как часто фокусные расстояния компонентов трубы точно неизвестны, поскольку они подгоняются в процессе сборки. Поэтому контроль видимого увеличения выполняется только по отношениям $\frac{\operatorname{tg} 2W'}{\operatorname{tg} 2W}$ или $\frac{2a}{2a'}$. Наиболее просто использовать последнее отношение, помня, что $\frac{2a}{2a'} = \frac{1}{\beta_{зр}} = \gamma_{зр} = \Gamma$, и выбирая вместо зрачков произвольные значения сечений l и l' параллельных пучков, входящих и выходящих из прибора (рис. 3, *а*).

Величиной l обычно служит либо металлическая диафрагма A, размеры отверстия которой c или b точно известны, либо реже стеклянная шкала. Изображение A' диафрагмы или шкалы за прибором будет являться величиной l', которая измеряется при контроле. Поскольку $\beta_{зр}$ постоянно, диафрагму можно ставить в любом месте входного пучка лучей (обычно перед объективом или защитным стеклом прибора). Размеры сторон диафрагм выбираются в довольно широких пределах от 2 до

20 *мм* и обеспечиваются с точностью до 0,01 *мм*. Чтобы контуры диафрагмы были достаточно резкими, края их делаются острыми.

В зависимости от конструкции испытуемого прибора диафрагма или шкала закрепляется на нем различным образом. При креплении необходимо обеспечить перпендикулярность плоскости диафрагмы к оси трубы, так как иначе будет измеряться проекция наклонного изображения, и отношение $\frac{l'}{l}$ будет неправильным.

Измерение l' производится обычно д и н а м е т р а м и различных конструкций, обеспечивающими точность измерения до 1%. Динаметры представляют собой лупу или микроскоп с сеткой.

Простейшим и наиболее часто употребляемым динаметром является динаметр Рамсдена *B* (рис. 3, *а*). Основные детали его конструкции: сетка *2*, окуляр *4* и трубка *5*. Сетка *2* имеет измерительную шкалу *C* (рис. 3, *в*), увеличенное изображение которой рассматривается через окуляр. Передвижением окуляра в трубке *5* по стрелке *I* можно отфокусировать изображение сетки по глазу наблюдателя. Осветив диафрагму или шкалу *A*, перемещают сетку с окуляром в трубке *3* по стрелке *II* до совмещения сетки с изображением *A'* диафрагмы или шкалы. Измеряют по шкале *C* сетки (рис. 3, *в*) динаметра размеры c' или b' и, разделив на них значение *c* или *b* диафрагмы *A*, определяют видимое увеличение.

Для удобства измерения l' трубка *5* перемещается в трубке *3* с шайбой *1*, которой динаметр упирается в окулярную часть прибора.

Динаметр Рамсдена обладает рядом недостатков:

1) неудобно держать динаметр в руке, вследствие чего изображение l' при измерении «прыгает» и точность измерения снижается;

2) движение трубки *5* в трубке *3* недостаточно плавно, что затрудняет совмещение плоскости сетки с изображением диафрагмы;

3) трубка *3* имеет незначительную длину, что не позволяет измерять l' при его большом удалении от окуляра.

Значительно удобнее динаметр в виде микроскопа, представленный на рис. 3, *б*. Измерительная сетка *5* динаметра *4* установлена в переднем фокусе окуляра *6* и на двойном фокусном расстоянии объектива *2*. Динаметр закреплен на кронштейне *3*, установленном на скамье *7*, на которой монтирован и контролируемый прибор *1*. Динаметр может плавно перемещаться по стрелке *II* при помощи кремальеры (на рисунке не показана) относительно испытуемого прибора до тех пор, пока изображение l' диафрагмы не будет находиться относительно объек-

тива динаметра на его двойном фокусном расстоянии. Тогда на сетке динаметра получится вторичное изображение l'' диафрагмы, которое не изменит своих размеров, так как поперечное увеличение объектива динаметра равно —1. В настоящее время находят широкое применение динаметры с увеличением объектива, не равным —1, например —0,5, —2,0.

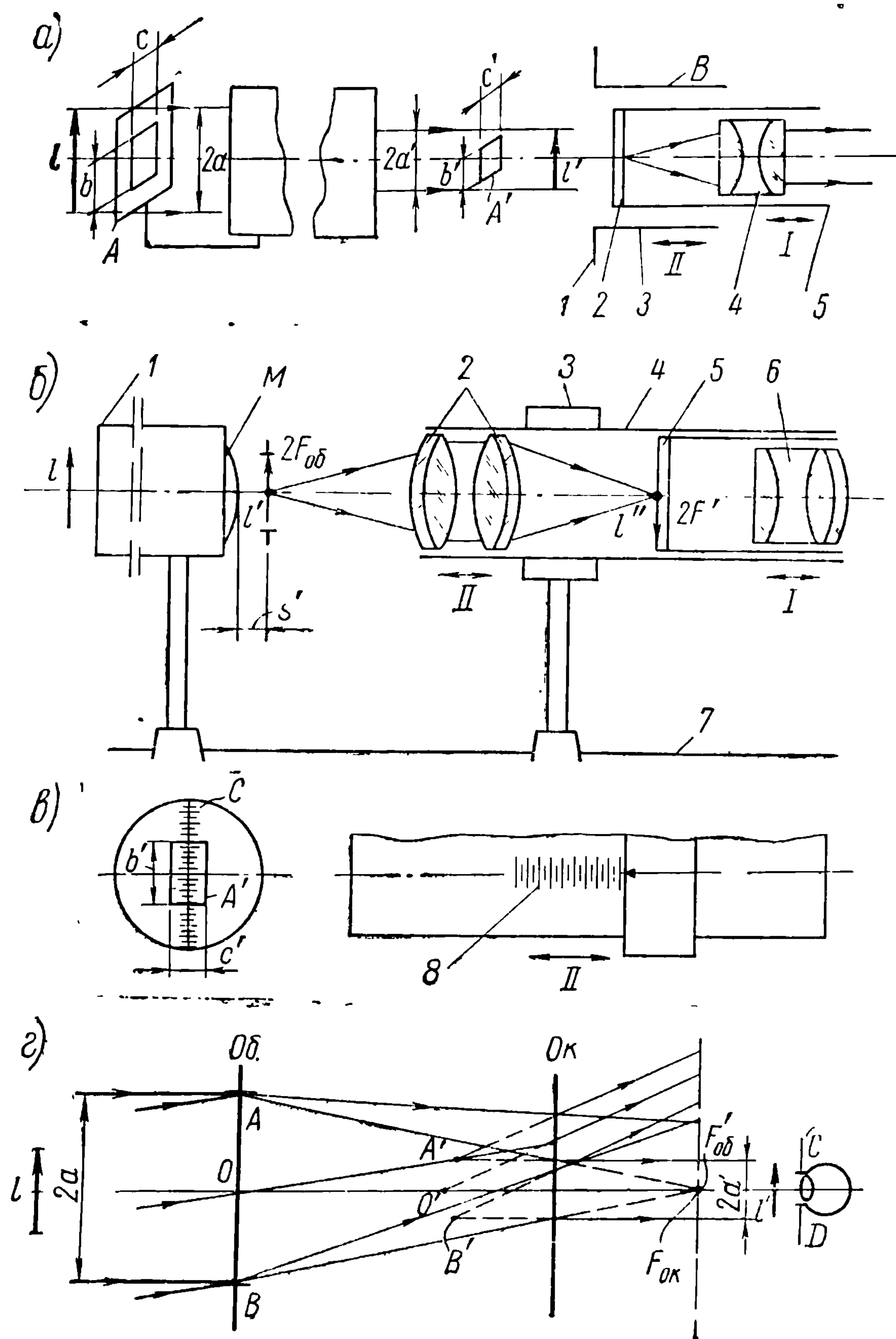


Рис. 3

Интересен метод измерения увеличения при помощи коллиматора и зрительной трубы, имеющей окуляр-микрометр (рис. 4). На сетке *1* коллиматора *I* имеются два штриха *A* и *B*, расположенные относительно друг друга на некотором расстоянии *l*. В передней фокальной плоскости окуляра зрительной трубки *III* помещаются нити *C* и *D* окулярного микрометра, раздвигающиеся при помощи винта *2*, причем расстояние *H* между нитями *C* и *D* отсчитывается по барабану *3*.

При измерении увеличения прибора сначала устанавливают зрительную трубу перед коллиматором. Раздвигая нити C и D, совмещают их с изображением штрихов A и B сетки коллиматора и производят первый отсчет по барабану 3. Далее устанавливают между коллиматором и трубой испытуемый прибор II так, чтобы оси всех приборов либо совпадали друг с другом, либо были параллельными. Поскольку испытуемый прибор имеет увеличение, то в плоскости нитей CD получится новое изображение штрихов сетки коллиматора A' и B', причем расстояние между ними не будет равно расстоянию H при первом отсчете по барабану. Совместив теперь нити C и D с изображением A' и B', производят новый отсчет по барабану. Отношение отсчетов по барабану дает значение увеличения прибора. Иногда шкала барабана градуируется так, что при вторичном раздвижении нитей микрометра на барабане сразу прочитывается искомое увеличение.

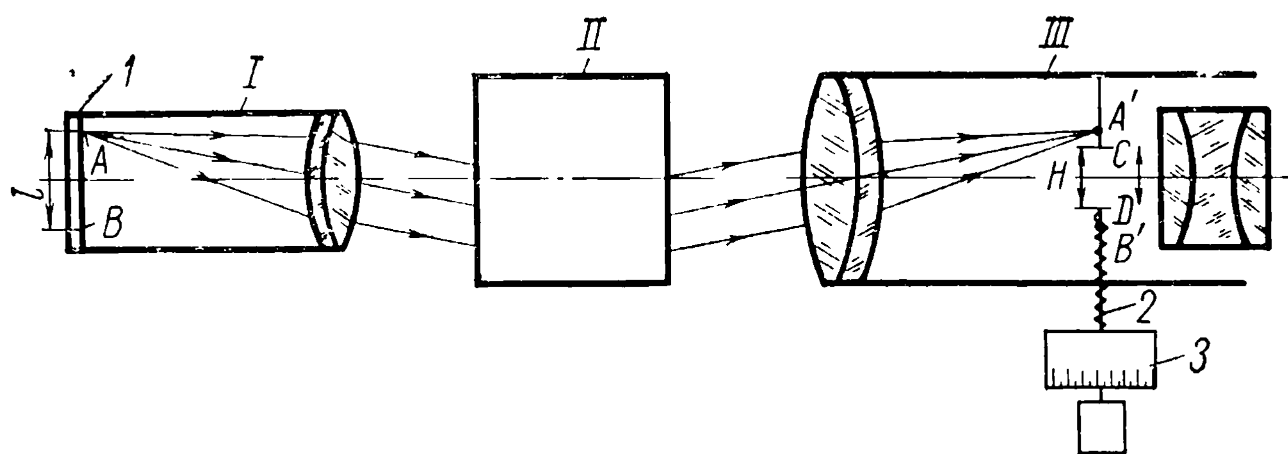


Рис. 4

Для быстрой приближенной оценки видимого увеличения можно измерить линейкой диаметр $2a'$ выходного зрачка — видимый световой кружок (см. рис. 1, *е*). Это будет, очевидно, размер l'. Внутренний диаметр оправы объектива (или его световой диаметр) $2a$ определит размер l.

В трубе Галилея (см. рис. 3, *г*) изображение $A'B'$ оправы AB объектива (или изображение диафрагмы l) мнимое и будет находиться внутри прибора. Измерение $2a'$ возможно только динаметром, представленным на рис. 3, *б*, путем совмещения точки $2F_{об}$ объектива динаметра с центром O' мнимого кружка $2a'$.

Контроль видимого увеличения микроскопа

Проверку увеличения наблюдательных микроскопов обычно не производят, так как при их сборке наибольшее внимание уделяется разрешающей силе и качеству изображения системы. Эти параметры контролируются в первую очередь; абсолютные величины увеличения обычно бывают в пределах допуска. Стро-

го должно быть выдержано увеличение измерительных микроскопов.

Для контроля видимого увеличения микроскопа *II* широко пользуются точной отсчетной шкалой *I* и телескопической трубкой Юдина *III* (рис. 5). Увеличение трубки Юдина $\Gamma_т = -1^x$. В сопряженных фокальных плоскостях объектива и окуляра трубки имеется сетка *1* со шкалой *2*.

Из хода лучей в микроскопе и трубке видно, что система микроскопа с трубкой представляет собой также микроскоп со

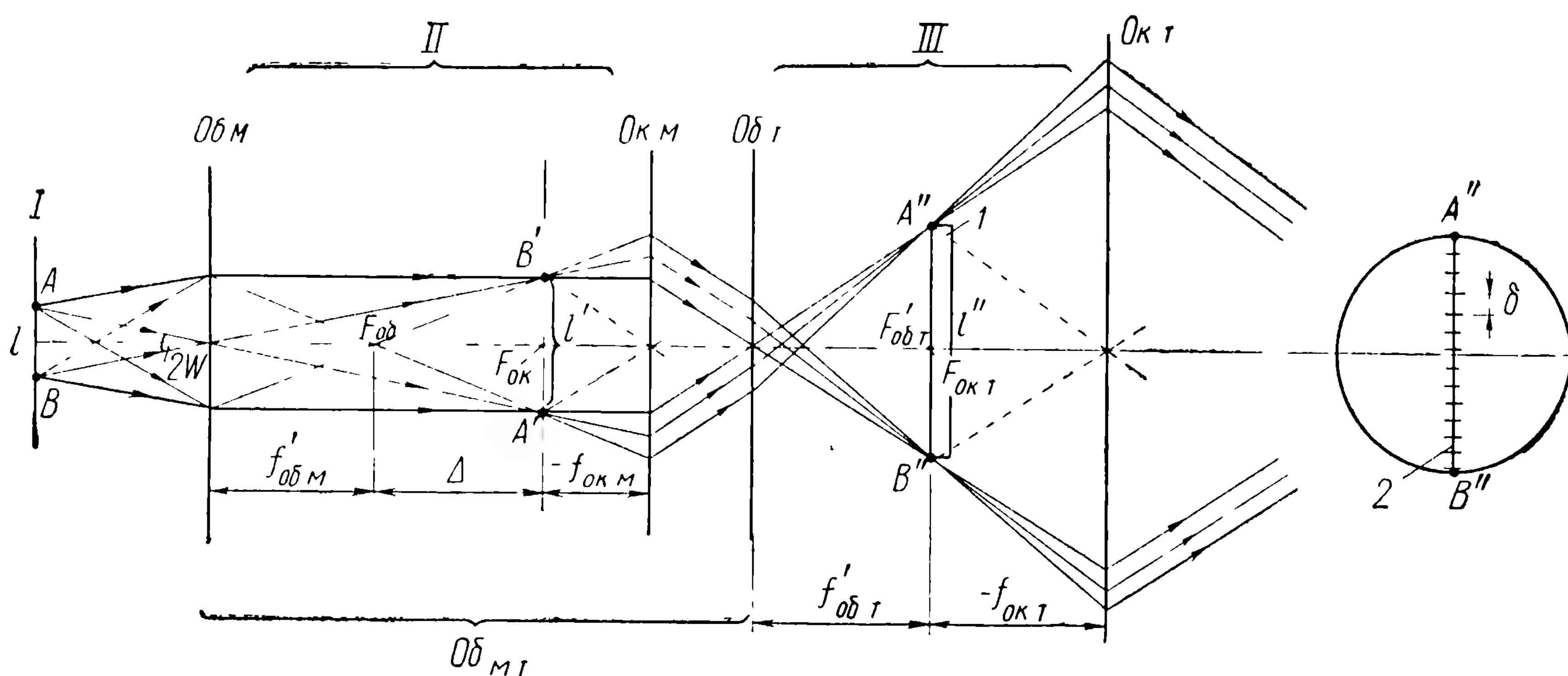


Рис. 5

сложным объективом, состоящим из объектива и окуляра микроскопа и объектива трубки. Объективная часть такого микроскопа дает в плоскости сетки *1* трубки прямое вторичное изображение $A''B''$ интервала AB отсчетной шкалы *I*. Это изображение увеличивается окуляром трубки. Для определения увеличения микроскопа $\Gamma_м$ замечаем, что увеличение системы микроскопа с трубкой

$$\Gamma_{м.\,т} = \Gamma_м \cdot \Gamma_т, \quad (15)$$

откуда

$$\Gamma_м = \frac{\Gamma_{м.\,т}}{\Gamma_т}. \quad (16)$$

Из хода лучей ясно, что

$$\Gamma_{м.\,т} = \beta_{о.\,м.\,т}\,\Gamma_{ок.\,т}, \quad (17)$$

где

$$\beta_{о.\,м.\,т} = \frac{l''}{l}; \quad (18)$$

$$l'' = n\delta, \quad (19)$$

причем n — число делений шкалы сетки трубки, укладывающихся в изображении l'', а δ — цена деления шкалы трубки.

Помня, что $Г_т = -1$, имеем

$$Г_м = \frac{n\delta}{l} \cdot \frac{250}{f'_{ок.т}}. \qquad (20)$$

Из этой формулы видно, что для определения $Г_м$ должны быть известны l, $f'_{ок.т}$ и δ, а n определяется при контроле. Окуляр трубки может устанавливаться по глазу наблюдателя.

Если в микроскопе имеется сетка со шкалой, то увеличение микроскопа юстируется так, чтобы вся шкала сетки укладывалась бы в изображении l' одного деления отсчетной шкалы.

Контроль поперечного увеличения

Для контроля поперечного увеличения системы необходимо задаться размерами объекта l и измерить величину его изображения l'; подставляя эти значения в формулу (1), находят β. В качестве объекта обычно берут шкалу *I* (см. рис. 1, *а*) с известной ценой деления Δ (например, прозрачную для контроля увеличения проекционной системы), следовательно, $l = n\Delta$. Для измерения изображения l' удобно проектировать его также на шкалу с известной ценой деления.

§ 5. Поле зрения

Основные соотношения

В телескопических системах углы поля зрения $2W$ и $2W'$ ограничиваются диаметром полевой диафрагмы, т. е. практически оправой сетки (см. рис. 1, *е*) либо оправой коллектива (см. рис. 2, *д*). Иногда, например в дальномерах, поле зрения прибора состоит из отдельных участков *А*, *С*, *В* (рис. 6, *а*). Они ограничиваются размерами соответствующих граней призм *1, 2, 3* или отражающей площадкой *К*. Из этих рисунков ясно, что при правильных значениях фокусных длин окуляра и объектива трубы, т. е. при правильном увеличении системы, поле зрения может не соответствовать расчетному при неправильном диаметре диафрагмы поля зрения и неправильных размерах призм, а также их неверных положениях.

На рис. 2, *д* показано уменьшение угла поля зрения смещением коллектива (оправа которого является диафрагмой поля зрения) относительно фокальной плоскости F_1' объектива. Из рисунка видно, что при сдвинутом коллективе (положение *А*) угол зрения W_1 будет меньше угла W, который обеспечивался при правильном положении коллектива.

Из рис. 6, *б* видно, что поле зрения прибора может быть уменьшено (срезано) недостаточными размерами призм или зеркал или их неправильным положением в системе. Видно также, что призма *А**, находящаяся в положении *II*, позволяет

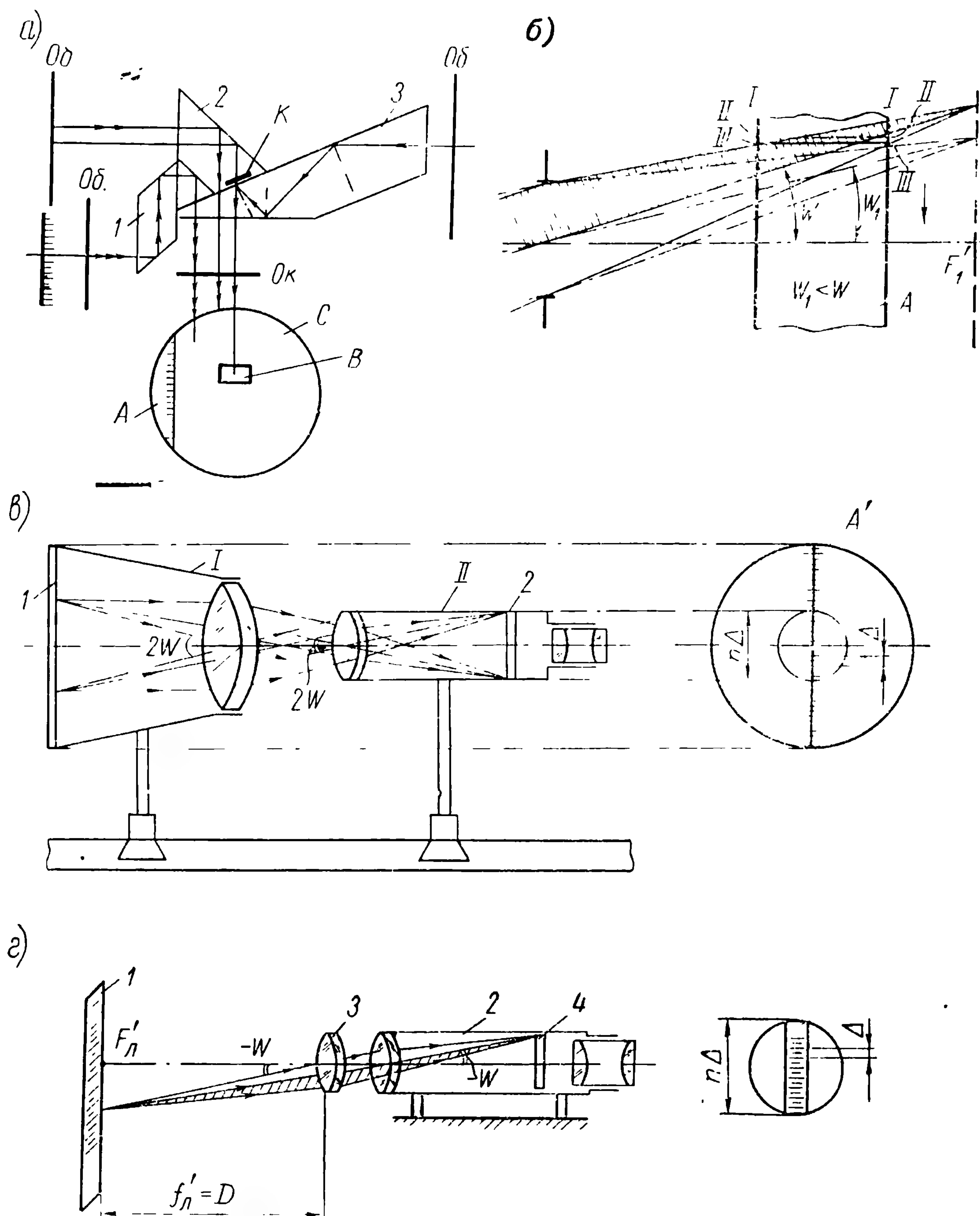


Рис. 6

пропустить через систему весь наклонный пучок, идущий под углом W. Если опустить призму в положение *II—II*, поле зрения W сохраняется, но происходит виньетирование — срезание наклонного пучка (заштрихованный пучок). При перемещении призмы в положение *III—III* лучи пойдут в объектив уже под углом W_1, меньшим угла W.

* На рис. 6, *б* представлена эквивалентная призме плоскопараллельная пластинка.

В длинных трубах (например, перископе), имеющих несколько оборачивающих систем и обычно несколько коллективов, величина поля зрения нарушается из-за плохой центровки коллективов и линз оборачивающих систем, что вызывает непредусмотренное виньетирование наклонных пучков.

В микроскопе (см. рис. 2, *а*) на величину поля зрения может оказывать влияние размер оптического интервала Δ и диаметр окуляра.

Ошибка dW' в угле поля зрения при неправильном диаметре сетки $D_с$ определится из формул:

$$\operatorname{tg} W' = \frac{D_с}{2f'_{ок}}; \tag{21}$$

$$\lg \operatorname{tg} W' = \lg D_с - \lg 2 - \lg f'_{ок}; \tag{22}$$

$$\frac{d \operatorname{tg} W'}{\operatorname{tg} W} = \frac{dD_с}{D_с} + \frac{df'_{ок}}{f'_{ок}}. \tag{23}$$

Так как

$$d \operatorname{tg} W' = \frac{dW'}{\cos^2 W'}, \tag{24}$$

то

$$\frac{d \operatorname{tg} W'}{\operatorname{tg} W'} = \frac{dW'}{\cos^2 W' \operatorname{tg} W'} = \frac{dW'}{\cos W' \sin W'} = \frac{2dW'}{\sin 2W'}; \tag{25}$$

$$\frac{2dW'}{\sin 2W'} = \frac{dD_с}{D_с} + \frac{df'_{ок}}{f'_{ок}}; \tag{26}$$

$$dW' = \frac{\sin 2W'}{2}\left(\frac{dD_с}{D_с} + \frac{df'_{ок}}{f'_{ок}}\right), \tag{27}$$

где $dD_с$ и $df'_{ок}$ — погрешности размеров $D_с$ и $f'_{ок}$.

Величина срезания поля оптическими деталями может быть определена из геометрических соображений по ходу соответствующих лучей в системе (пример показан на рис. 6, *б*).

Допуск на поле зрения обычных телескопических труб находится в пределах ±5% от расчетного.

Контроль поля зрения телескопических труб

Поле зрения телескопических приборов проверяется при помощи: 1) коллиматора, 2) гониометра, 3) теодолита, 4) двух раздвижных коллиматоров, 5) рейки.

Поверка поля зрения при помощи к о л л и м а т о р а применяется в цехах наиболее широко. Испытуемый прибор *II* и коллиматор *I* (рис. 6, *в*) устанавливаются так, чтобы оси их были

параллельны друг другу. Коллиматор имеет сетку *1*, по диаметру которой проходит измерительная шкала. Плоскость сетки коллиматора должна быть нормальна к его оси.

При наблюдении в контролируемый прибор изображение A' шкалы сетки коллиматора будет видно в поле зрения полевой диафрагмы *2* прибора (рис. 6, *в*). Установив коллиматор так, чтобы изображение шкалы его сетки проходило по диаметру диафрагмы поля зрения прибора, определяют величину его угла поля зрения по произведению числа делений n, перекрывающих диаметр диафрагмы поля зрения, на цену деления Δ сетки коллиматора. Целесообразно иметь коллиматор достаточно широкоугольным.

Необходима хорошая коррекция объектива коллиматора на полевые ошибки, так как астигматизм, кривизна поля, дисторсия и кома ухудшают резкость изображения шкалы коллиматора по краям поля зрения прибора, затрудняя определения его диаметра. Зрачок входа коллиматора должен быть больше зрачка входа испытуемого прибора. Расстояние между коллиматором и прибором должно быть минимальным, чтобы избежать сильного срезания наклонных пучков. Обычно используются широкоугольные объективы фотоаппаратов.

Шкалы сетки коллиматоров градуируются в градусах, долях дистанции и тысячных делениях окружности. При контроле удобно монтировать коллиматор и прибор на оптической скамье. Тогда при установке приборов применяется только одна их регулировка — по высоте.

Контроль поля зрения по рейке проводится при отсутствии каких-либо других поверочных приборов. Рейка *1* (рис. 6, *г*) устанавливается вертикально (например, по отвесу) на некотором точно измеренном расстоянии D до объектива испытуемого прибора *2*. Если рейка установлена близко от прибора и последний не имеет фокусировки для резкого видения близко расположенного предмета — рейки, то перед его объективом следует поместить линзу *3* с фокусным расстоянием $f'_л$, равным расстоянию D. Тогда рейка окажется в фокусе линзы, и система ее с рейкой будет представлять собой коллиматор. Получив изображение рейки в плоскости диафрагмы *4* прибора, отсчитывают число делений, перекрывающих диаметр диафрагмы. Так как обычно шкала рейки проградуирована в линейной мере, то величина угла W поля зрения прибора определится по формуле

$$\operatorname{tg} W = \frac{n\Delta}{2D} = \frac{n\Delta}{2f'_л}, \qquad (28)$$

где Δ — цена деления рейки;

n — число делений шкалы, соответствующее диаметру диафрагмы.

При проверке поля зрения по коллиматору и рейке доли де-

лений измерительной шкалы приходится отсчитывать на глаз. Гониометры и теодолиты имеют на измерительных лимбах нониусы, позволяющие измерить поле зрения с бо́льшей точностью, до секунд.

Схема контроля поля зрения при помощи гониометра представлена на рис. 7, *а*. Испытуемый прибор *1* закрепляется на столике гониометра так, чтобы ось *О* вращения лимба *2* проходила через главные точки объектива прибора. Вращая лимб с прибором, совмещают изображение y_1' какого-либо удаленного предмета y с краем поля зрения прибора и делают отсчет по нониусу *3* лимба. Поворачивают прибор с лимбом до совмещения изображения y_2' с противоположным краем поля зрения и производят второй отсчет. Разность отсчетов по лимбу дает значение измеренного угла поля прибора. В цеховых условиях объект y заменяют обычно коллиматором *4*. Принципиально можно закрепить прибор неподвижно, а вращать коллиматор с лимбом. Недостатком данного метода является то, что практически трудно совмещать главные точки объектива прибора с осью вращения лимба. Этот недостаток отсутствует в методе контроля поля зрения теодолитом.

Проверку поля зрения теодолитом можно уяснить из рис. 7, *б*. Теодолит *I* и прибор *II* устанавливают при помощи уровней так, чтобы ось визирования трубы теодолита при ее вращении совпадала с меридиальной вертикальной плоскостью трубы прибора, как показано на рисунке.

Поворотом трубы и лимба теодолита наводят изображение перекрестия *С* его сетки на край *А* диафрагмы *1* поля зрения испытуемого прибора (рис. 7, *б*) и берут отсчет по нониусу *2* теодолита. Далее наводят трубу теодолита на противоположный край *В* диафрагмы (рис. 7, *б*) и делают второй отсчет по нониусу. Алгебраическая разность отсчетов определит искомый угол $2W$ поля зрения прибора. Если угол $2W$ поля зрения прибора значителен, то при втором положении трубы теодолита лучи, идущие под углом W от края диафрагмы *1*, срезаются и навести перекрестие сетки коллиматора на край диафрагмы нельзя. В таком случае, сделав первый отсчет по нониусу теодолита, перемещают прибор (или теодолит) по вертикали параллельно исходному положению до тех пор, пока при повороте трубы на угол W лучи, идущие из прибора, уже не срежутся.

Контроль поля зрения при помощи двух раздвижных коллиматоров легко уяснить из рис. 7, *в*, повторяющего в сущности схему контроля при помощи теодолита. Коллиматоры *1* и *2* раздвигаются по стрелке *а* до приведения изображений K' крестов K сеток коллиматоров на края поля зрения прибора. Отсчет угла поля прочитывается по шкале *3* при помощи индексов *4*, связанных с коллиматорами.

При контроле поля зрения трубы Галилея следует помнить, что люком входа и полевой диафрагмой является оправа *AB* объектива, ее мнимое изображение *A'B'* (рис. 3, *г*) — люком

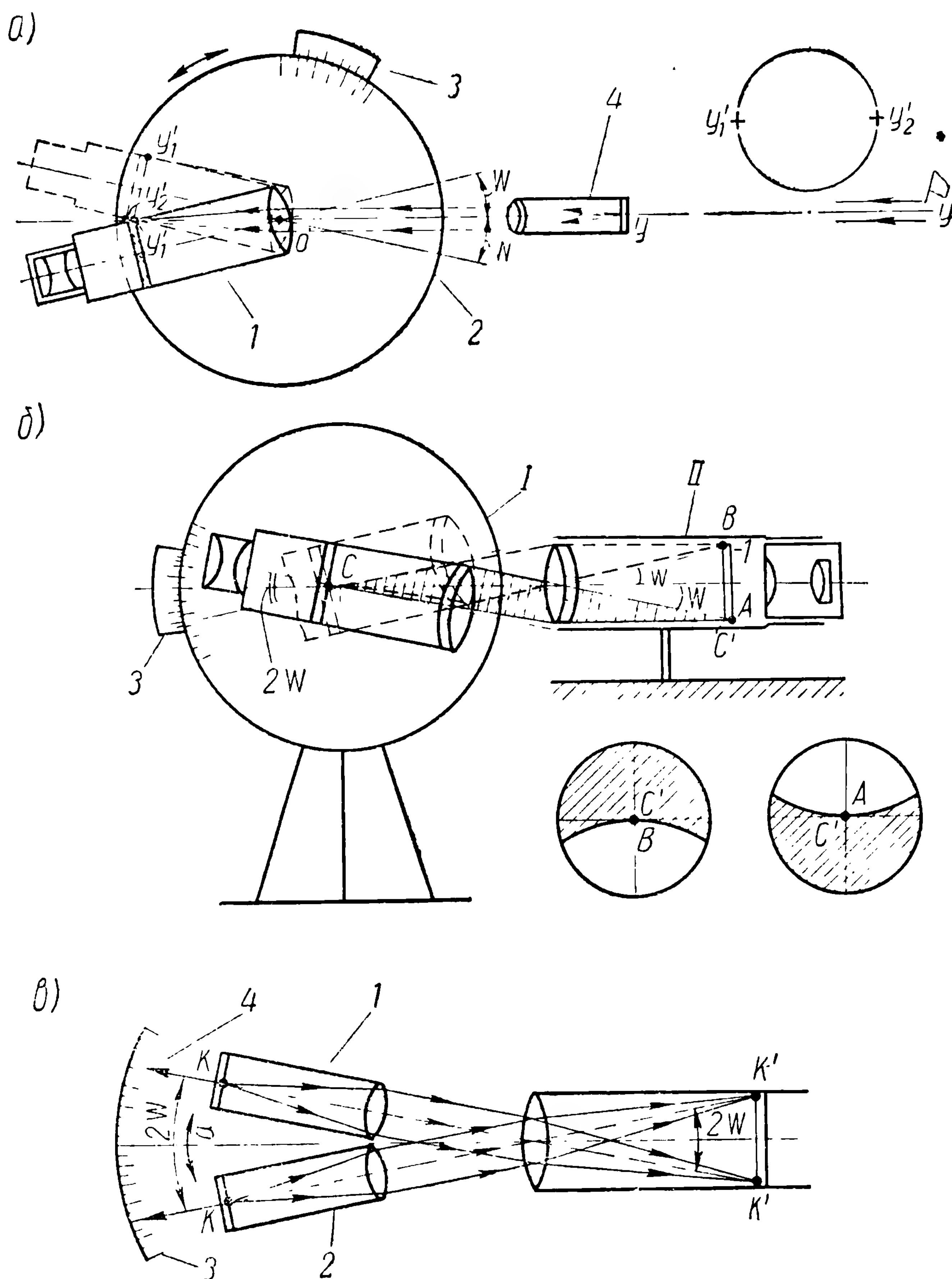


Рис. 7

выхода; зрачком выхода — зрачок глаза, его изображение через систему бинокля — зрачком входа.

Фиксирование положения глаза осуществляется диафрагмой *CD* с диаметром 1,5÷2 *мм*, устанавливаемой в месте обычного положения зрачка глаза. Как известно из прикладной оптики, величины углов полей зрения будут зависеть от положения диафрагмы *CD* относительно окуляра трубки.

Поле зрения микроскопов задается в линейной мере по диаметру видимого поля. Контроль поля осуществляется при

помощи шкалы I (см. рис. 5), наблюдаемой непосредственно в микроскоп. Из рис. 5 видно, что линейное поле AB соответствует угловому полю $2W$ со стороны объектива.

§ 6. Зрачок выхода (его размер, форма, положение относительно последней поверхности окуляра и оптической оси системы, контрастность)

Основные соотношения

Из формулы (1) и хода лучей на схемах рис. 1, *г, д, е* видно, что диаметр выходного зрачка $2a'$ телескопической системы определяется при заданном диаметре зрачка входа $2a$ из соотношения $\Gamma = \frac{2a}{2a'}$, т. е. зависит от величины увеличения системы и, следовательно, от значений $f'_{об}$ и $f'_{ок}$.

Для микроскопа (см. рис. 2, *а*) диаметр выходного зрачка определяется по формуле

$$2a' = 2Af'_{м}, \tag{29}$$

где $f'_{м}$ — фокусное расстояние микроскопа, равное $\frac{f'_{об}f'_{ок}}{\Delta}$, а

$$A = n \sin u, \tag{30}$$

где угол u является апертурным углом, зависящим от диаметра D зрачка входа микроскопа и положения объекта;

n — показатель преломления среды, в которой находится объект.

Следовательно, значение диаметра выходного зрачка зависит от точности $f'_{об}$, $f'_{ок}$, диаметра входного зрачка и расстояния s от объекта до зрачка (см. рис. 2, *а*).

Зрачок выхода должен представлять собой правильный равномерно освещенный круг заданного диаметра. Из схем на рис. 8, *а* и *б* видно, что перемещения линз и призм в направлении, перпендикулярном оси прибора (стрелка *а*), приводят к срезанию некоторой части площади выходного зрачка.

Срез зрачка уменьшает светосилу прибора, поэтому допустимая величина срезания зрачка оговаривается в технических условиях на прибор. Как видно из рис. 8, *а*, *б*, призма (или зеркало) ограничивает срез зрачка по прямым линиям, линзы — по дугам, поэтому форма среза зрачка позволяет в известной мере обнаружить деталь, являющуюся причиной данного явления. Измерив величину среза, можно по ходу лучей

определить и смещение оптической детали, вызвавшей срез зрачка.

Расстояние s' от зрачка выхода до окуляра определяет положение глаза наблюдателя относительно окуляра прибора. Как видно из рис. 8, *а*, величина s' зависит от значений $f'_{об}$, $f'_{ок}$ и угла поля зрения W'. При постоянных $f'_{об}$ и $f'_{ок}$ отрезок s'

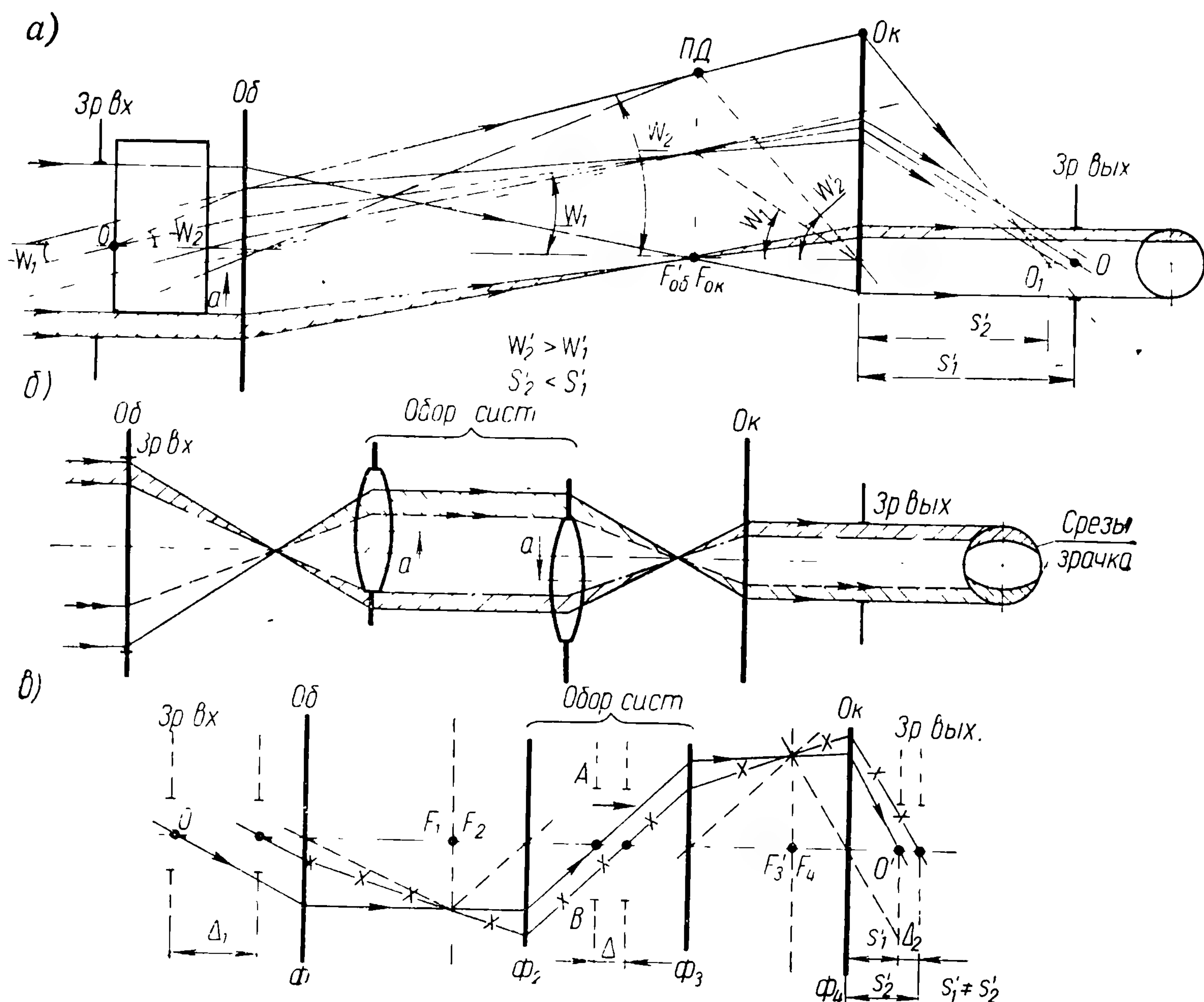


Рис. 8

увеличивается при уменьшении угла W'. Неправильное положение апертурной диафрагмы *АВ* (рис. 8, *в*) также вызывает смещение выходного зрачка относительно расчетного. При смещении апертурной диафрагмы на величину Δ зрачки входа и выхода сдвигаются на некоторые отрезки Δ_1 и Δ_2 (см. луч-пунктир с крестиком).

В правильно собранном приборе центр O' зрачка выхода должен находиться на оптической оси системы (рис. 9, *а*). Соблюдение этого условия необходимо для правильного положения глаза относительно оптической оси системы и особенно важно в бинокулярных приборах (см. § 14). При смещении (или повороте) зеркал или призм *АВ* (например, из положения *I* в положение *II*) и смещении линз перпендикулярно оси системы оптическая ось объектива *ОКС*, совпадающая при правильной сборке после отражения от зеркала *АВ* с осью *СМ* окуляра, получит после

отражения от зеркала в положении *II* новое направление, например *OK'C'M'*.

Построив ход апертурных (пунктир) и наклонных (пунктир с двумя точками) лучей после отражения от зеркала в положении *II*, увидим, что точка *O''* пересечения главного луча *OELO''*

Рис. 9

(с крестиком) с осевым лучом *OK'M'O''* (т. е. центр выходного зрачка) сместилась относительно оси окуляра *CM* на величину *e*.

Из рисунка видно также, что: 1) изменилось расстояние *s'* от окуляра до зрачка выхода (стало *s''*); 2) плоскость изображения $-y''$ объекта сместилась относительно плоскости сетки *C* на линейную величину Δ, вызвав явление параллакса* (см. § 9); 3) произошла децентрировка системы на линейную величину смещения *h* зеркала (см. § 10).

Для удобства наблюдения выходной зрачок должен иметь резко очерченные края, хорошо контрастирующие с общим фоном. Контрастность зрачка понижается лучами, рассеянными внутренними поверхностями оправ оптических деталей, их нерабочими поверхностями, а также внутренними поверхностями трубы оптической системы. Уменьшение рассеяния лучей дости-

* В плоскости сетки точка изображения предмета превратится в кружок рассеяния ρ.

гается окрашиванием указанных поверхностей темными матовыми красками, установкой специальных светозадерживающих диафрагм и нарезанием кольцевых борозд на внутренней поверхности трубы.

Контроль диаметра выходного зрачка, величины его срезания, положения относительно окуляра и его оси

Контроль этих параметров осуществляется при помощи динаметра (см. § 4). Для определения диаметра выходного зрачка и величины его среза перемещают динаметр до совпадения его сетки с плоскостью выходного зрачка и измеряют его диаметр (или величину среза) (см. рис. 3, *а, в*) по шкале сетки динаметра. При измерении расстояния s' от последней поверхности M окуляра прибора до зрачка выхода l' (см. рис. 3, *в*) сначала фокусируют сетку *5* динаметра на зрачок выхода l' и берут отсчет по шкале *8*. Далее перемещением динаметра *4* в кронштейне *3*. (стрелка *II*) фокусируют сетку динаметра на последнюю поверхность M окуляра и делают второй отсчет по той же шкале (шкала нанесена на трубке *4*; отсчетный индекс на кронштейне *3*). Разность отсчетов очевидно и даст величину s'. Имеются динаметры, у которых отсчет размера s' производится одновременно при измерении диаметра выходного зрачка. Для обычных наблюдательных приборов допуск на удаление s' выходного зрачка задается не более 10% от номинального значения в обе стороны. Допуск на диаметр зрачка порядка +5%.

Смещение центра e выходного зрачка (рис. 9, *а*) относительно оси окуляра можно определить при помощи динаметра *1* с центрирующей насадкой *2* (рис. 9, *б*), ось которой совпадает с осью динаметра, а торцовая плоскость AB насадки нормальна этой оси.

При контроле динаметр при помощи насадки центрируется относительно оси окуляра *3*. Смещение e центра выходного зрачка определяется по шкале сетки в поле зрения динаметра.

§ 7. Наклон изображения

Основные соотношения

При повороте призм или зеркал относительно осей X и Y (стрелки ω_x и ω_y) на угол α (рис. 10) изображение l' объекта l поворачивается в сторону вращения детали на двойную угловую величину $\beta = 2\alpha$. Такое явление, называемое **наклоном**, или **поворотом изображения**, затрудняет наводку прибора на цель в монокулярных трубах, а в бинокулярных затрудняет стереоскопическое восприятие местности и утомляет наблюдателя. Для обычных призменных труб допустимый наклон изображения относительно объекта $\leqslant 60'$.

При наличии в системе прибора нескольких (минимум двух) призм или зеркал (например, призм *А* и *В* на рис. 10) наклон изображения, вызываемый поворотом одной призмы, может быть компенсирован разворотом другой призмы в противоположную сторону, что должно быть предусмотрено конструкцией прибора.

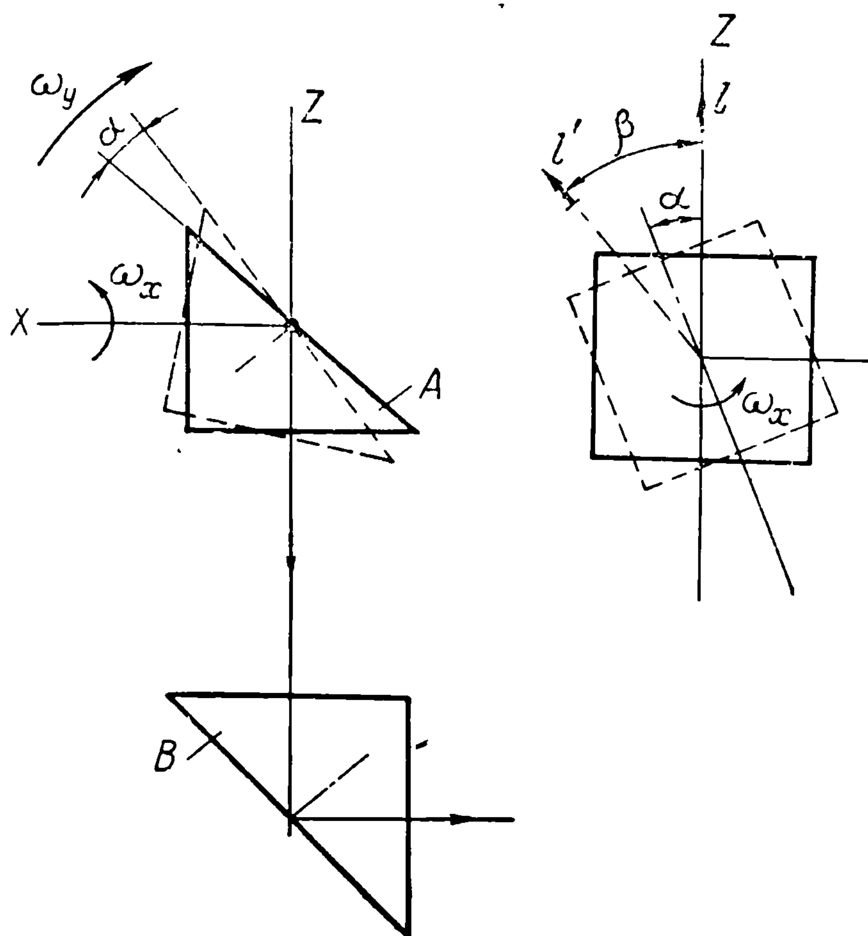


Рис. 10

Контроль наклона изображения

Оценка величины наклона изображения может быть произведена при помощи коллиматора или отвеса и наблюдательной телескопической трубки.

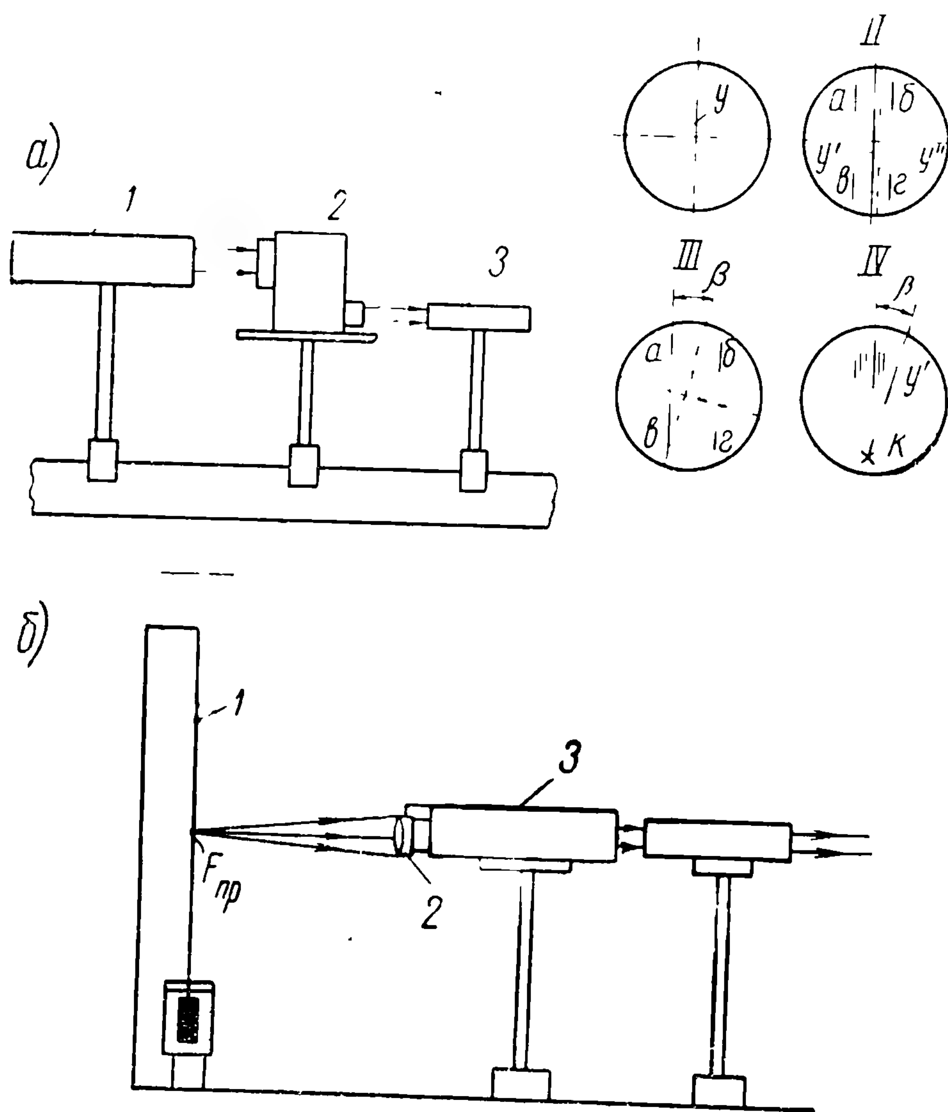


Рис. 11

При первом способе контроля коллиматор *1* (рис. 11, *а*) имеет сетку в виде одной вертикальной нити или перекрестия (*I*), а наблюдательная труба *3* снабжена сеткой, имеющей штрихи *а, б* и *в, г* (*II*). Устанавливают коллиматор *1* и наблюдательную трубку *3* (например, на скамье) так, чтобы изображение *у'* вертикальной нити *у* сетки коллиматора было видно на равном расстоянии от штрихов *а*, *б* и *в*, *г* сетки трубки или было параллельно им (*II*). После этого между коллиматором и наблюдательной трубкой помещают испытуемый прибор *2*. Если призмы прибора установлены правильно и наклона изображения нет, то изображение нити сетки коллиматора будет попрежнему параллельно штрихам *а*, *б* и *в*, *г*. При наличии наклона изображение повернется на некоторый угол β (*III*).

Обычно линейное расстояние между штрихами *а* и *б*, *в* и *г* соответствует угловому допуску на угол β наклона изображения.

Сетка наблюдательной трубки, снабженная шкалой, показана на *IV*. В этом случае при оценке наклона изображения следует совместить конец изображения *y'* вертикальной нити коллиматора с крестиком *Б* сетки, отсчитывая наклон изображения по шкале.

Для установки коллиматора и трубки их штативы снабжены винтами и уровнями. При контроле приборов, систематически выпускаемых данным цехом, коллиматор и наблюдательную трубу удобно монтировать вместе, образуя стационарную установку.

При отсутствии коллиматора можно пользоваться отвесом *1* (рис. 11, *б*), который заменяет вертикальный штрих сетки коллиматора. Если отвес расположен близко от испытуемого прибора *3*, а последний не имеет механизма для фокусировки на близкий предмет, то на входное окно прибора следует закрепить приблизитель *2*, т. е. линзу с фокусным отрезком, равным расстоянию от линзы до отвеса. Для успокоения колебаний отвеса груз его помещается в демпфирующую жидкость, обычно масло.

§ 8. Разворот сетки

В ряде приборов, имеющих сетки в виде перекрестия, необходимо, чтобы при наводке на цель одна из нитей сетки была вертикальна.

Если труба при работе может свободно вращаться, то при сборке положение нитей сетки безразлично. Если же труба зафиксирована неподвижно относительно какой-либо части конструкции, которая сама устанавливается в пространстве определенным образом (например, панорама рис. 12, *а*), то при сборке необходимо обеспечить вертикальность одной из нитей сетки. Отклонение этой нити от вертикали называют разворотом сетки.

Установка сетки может быть выполнена либо при помощи отвеса и приблизителя (см. рис. 11, *б*), либо по коллиматору *1* (см. рис. 11, *а*), сетка которого имеет вертикально расположенную нить.

Установив окуляр испытуемого прибора *2* (см. рис. 11, *а*) по глазу, наблюдают в поле зрения прибора взаимное расположение изображения *CD* нити сетки коллиматора *1* и нити *AB* сетки прибора *2* (рис. 12, *б*). Если нить *AB* наклонена, то сетку поворачивают до совмещения нити *AB* с изображением *CD*.

Конструкция прибора *2* должна позволять вращать сетку, не сдвигая ее относительно заднего фокуса объектива системы,

так как иначе появятся параллакс сетки и изображения объектива. Такова, например, конструкция, представленная на рис. 109. Вращение сетки на резьбе привело бы ее к смещению по оси прибора и параллаксу (см. § 9).

Если в испытуемом приборе имеются призмы или зеркала (рис. 12, *а*), то перед контролем разворота сетки следует убедиться, что в приборе устранен наклон изображения. При наличии этой деюстировки изображение нити отвеса или коллиматора будет наклонено, а сетка неправильно установлена. В этом случае проверить разворот сетки прибора можно по трубе *А*, установленной за окуляром испытуемого прибора (рис. 12, *а*) и имеющей вертикально расположенную нить сетки. При этом ось трубы *А* должна быть параллельна оси испытуемого прибора. Обычно разворот сетки приборов, употребляемых с установкой в руке, не должен быть более ±1°30′, а при установке прибора на устойчивом основании — не более ±1°.

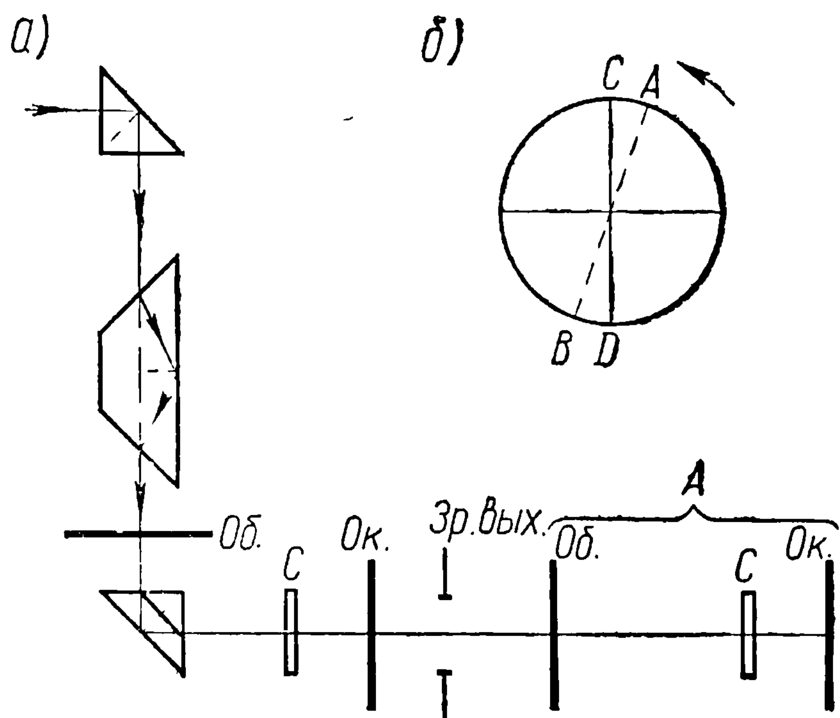


Рис. 12

§ 9. Параллакс изображения объекта и визирной сетки

Сущность параллакса и его причины

Параллаксом называют несовпадение плоскости действительного изображения y' объекта, даваемого объективом, с плоскостью *М* измерительной или визирной сетки (рис. 13, *а*). При параллаксе глаз путем аккомодации может видеть резко через окуляр либо изображение сетки прибора, либо изображение y' объекта. При фокусировке глаза на одно из изображений, например сетку прибора (рис. 13, *а*), каждая точка изображения объекта будет видна уже в виде кружка ρ, т. е. нерезко, что снижает точность наводки или отсчета. Если глаз помещен не по оси *CD* прибора (рис. 13, *б*, *I*), что практически и бывает при работе, а в произвольных положениях *II* или *III* в пределах зрачка выхода, то, как видно из рисунка, изображение y' объекта y_∞ будет казаться смещенным относительно вертикали сетки в сторону передвижения глаза (см. стрелки на рис. 13, *б*, *II* и *III*). Это затрудняет наводку прибора на объект, особенно при значительных диаметрах выходного зрачка, и вносит ошибку измерения дистанции в дальномерах.

Параллакс возникает вследствие ряда причин:

1. Сетка сдвинута относительно фокусов системы, где образуется действительное изображение y' объекта (рис. 13, *а*).

2. Сетка *СМ* установлена правильно, но изображение y' объекта не совпадает с ней, так как объект $y_к$ находится на конечном расстоянии от прибора (рис. 13, *в*).

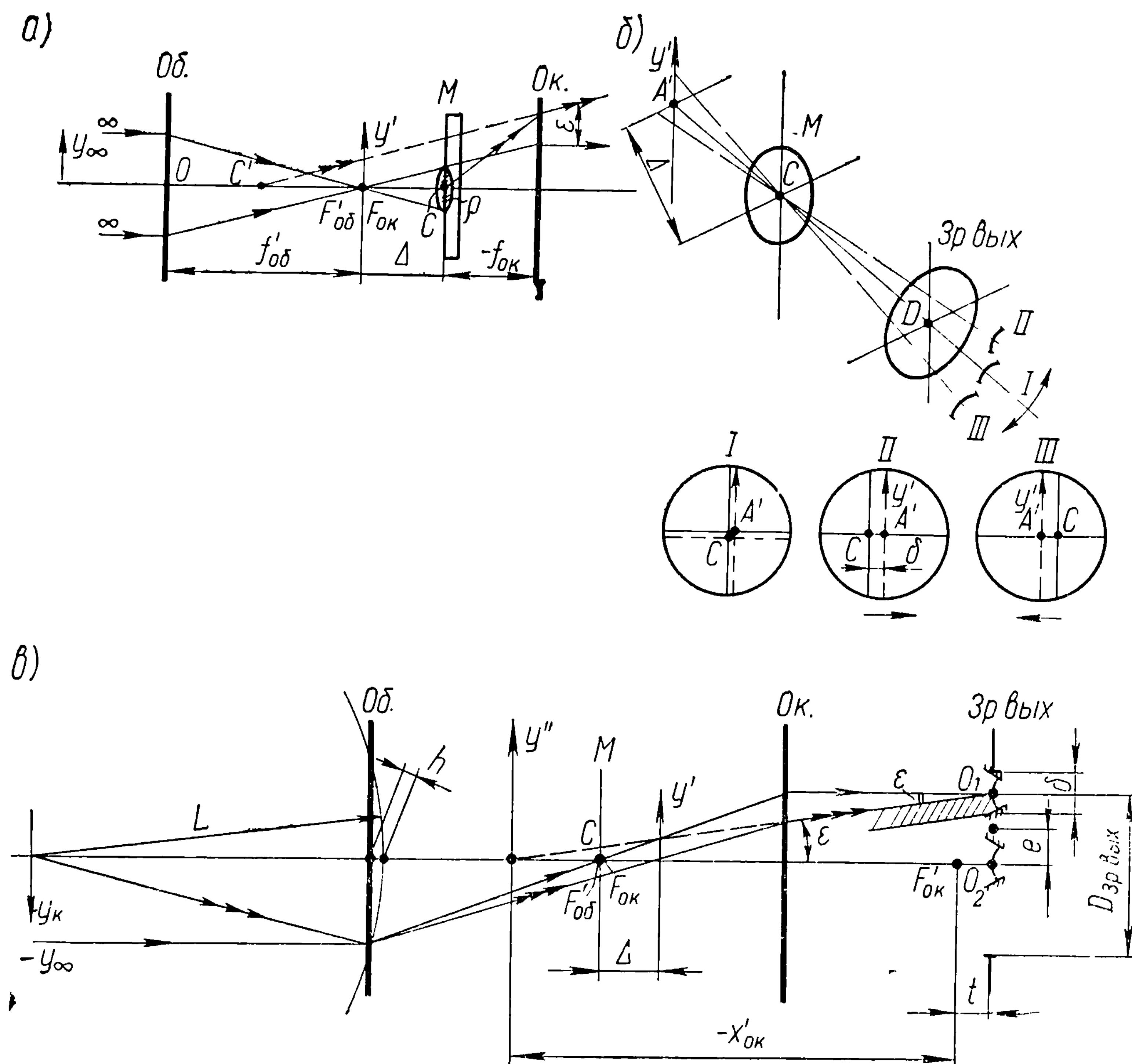


Рис. 13

3. Плоскости защитного стекла (рис. 14, *а*) или призмы (рис. 14, *б*) имеют сферичность *r*, превращающую эти детали в линзы со слабой оптической силой. В результате совместного действия такой линзы и объектива прибора эквивалентный задний фокус системы объектива плюс призма или защитное стекло ($F'_{об+пр}$ или $F'_{об+з. с}$) сместится вместе с изображением y' объекта относительно расчетного положения, в которое помещена сетка.

4. Призма (рис. 14, *в*) имеет длину хода ($а'+б'$), отличную от расчетной ($а+б$). При правильном положении объектива и сетки изображение y' объекта не совпадает с ней на величину разности хода Δ луча в призме.

5. При зафиксированном положении объектива и сетки поступательное перемещение призмы (стрелки *а* и *б* на рис. 14, *г*), расположенной между объективом и сеткой, на величины Δ_1 и

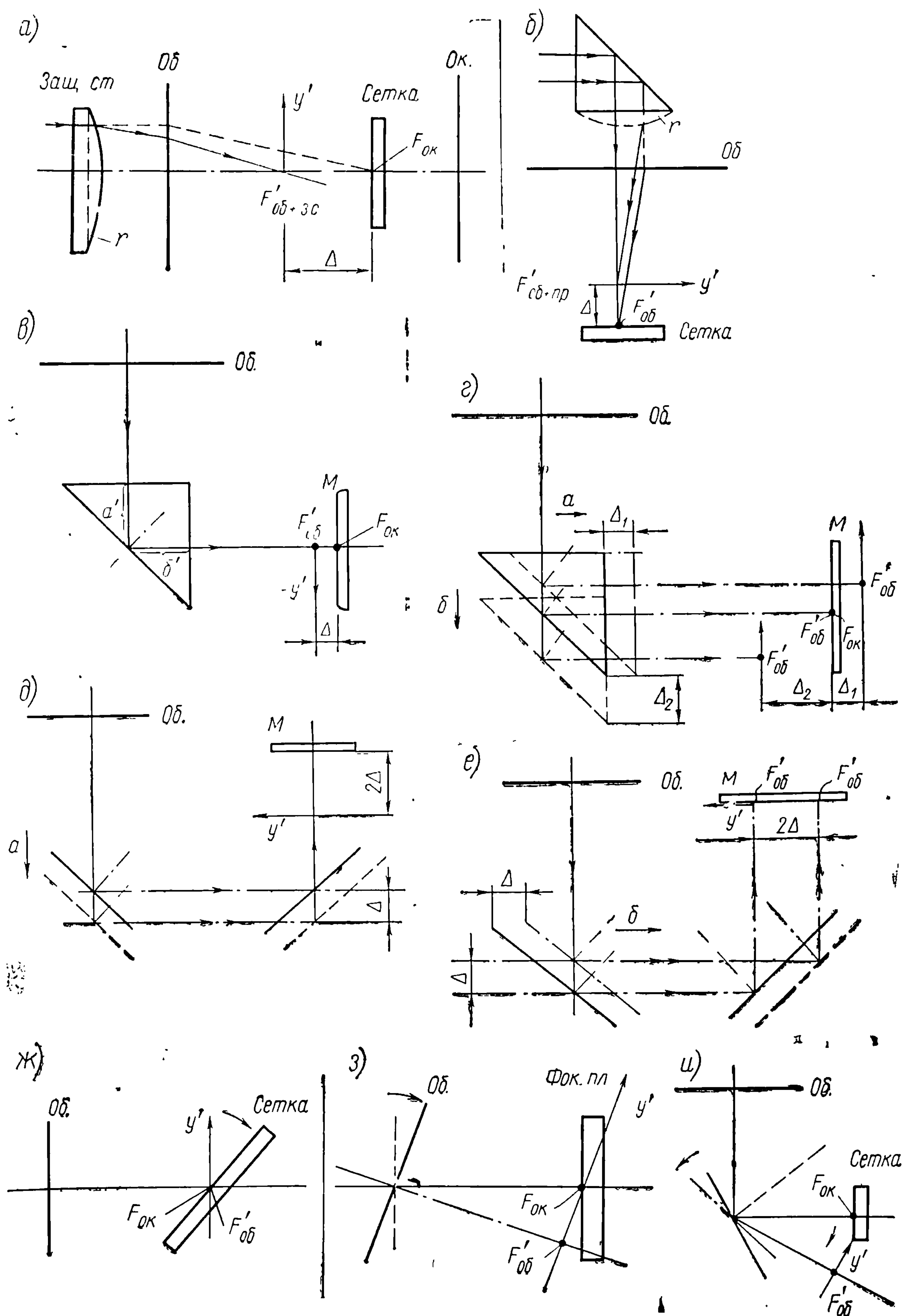


Рис. 14

Δ_2 вызовет параллакс, равный Δ_1 и Δ_2 (при этом возникает явление децентрировки системы, разобранное в § 10).

6. Поступательное перемещение призмы с двумя отражающими гранями (или двух зеркал) по стрелке *а* (рис. 14, *д*) на

величину Δ вызовет параллакс, равный 2Δ; поступательное же движение такой системы по стрелке *б* параллакса не вызывает (рис. 14, *е*). Следует помнить, что для случаев, представленных на рис. 14, *г* и *е*, возникает и децентрировка системы (см. § 10).

7. Наклон сетки (рис. 14, *ж*) или объектива (рис. 14, *з*) относительно вертикали также вызывает параллакс на краях поля зрения. Такой параллакс называют иногда «косым параллаксом». При косом параллаксе поступательные перемещения объектива или сетки параллакса не устраняют. Исправить параллакс можно только поворотами сетки или объектива. Поворот призмы или зеркала (рис. 14, *и*) также вызывает косой параллакс.

Если часть оптической системы от объектива до сетки имеет существенные аберрации, то изображение объекта в соответствующей фокальной плоскости будет нерезким, хотя и совпадающим с сеткой. Очевидно, добиться резкости изображения, не меняя оптических деталей системы, невозможно. Передвигая сетку, можно добиться некоторого «усреднения» резкости изображения и сетки. Поскольку сетка будет выводиться из фокальной плоскости окулярной части прибора, резкость ее изображения будет уменьшена. Указанное явление называют иногда в производстве неустранимым параллаксом.

Устранить параллакс можно перемещениями вышеуказанных деталей, однако практически целесообразнее перемещать о б ъ е к т и в или с е т к у, предусмотрев это при конструировании прибора

Методы измерения параллакса

Параллакс измеряется обычно в линейной, угловой и диоптрийной мерах. Между ними установлены определенные зависимости.

Из рис. 13, *в* видно, что л и н е й н о м у р а с с т о я н и ю Δ между плоскостью *М* сетки и изображением y' объекта соответствует угол ε, под которым глаз будет видеть окончательное изображение y'' объекта y_∞. Если рассматривать параллакс для глаза, расположенного на краю зрачка выхода (точка O_1) (когда параллакс наиболее ощутим), то

$$\varepsilon = \frac{D_{\text{зр. вх}}}{2\,(x'_{\text{ок}} + t)\,0{,}00029}, \qquad (31)$$

где ε вычисляется в минутах.

Так как

$$x'_{\text{ок}} = -\frac{(f')^2_{\text{ок}}}{x} = -\frac{(f')^2_{\text{ок}}}{\Delta}, \qquad (32)$$

то

$$\varepsilon = \frac{D_{\text{зр. вых}}}{2\left(\frac{(f')^2_{\text{ок}}}{\Delta} + t\right) 0{,}00029}. \qquad (33)$$

Легко показать, что

$$\Delta = \frac{(f')^2_{\text{ок}}}{\frac{D_{\text{зр. вых}}}{2 \cdot 0{,}00029} - t}. \qquad (34)$$

При малом t для упрощенных подсчетов можно написать, что

$$\varepsilon = \frac{D_{\text{зр. вых}}\Delta}{2(f')^2_{\text{ок}}}; \qquad (35)$$

$$\Delta = \frac{2(f')^2_{\text{ок}}\varepsilon\, 0{,}00029}{D_{\text{зр. вых}}}. \qquad (36)$$

При произвольном смещении e центра зрачка глаза относительно центра O_2 зрачка выхода прибора (рис. 13, *в*) формула (36) примет вид

$$\Delta = \frac{(f')^2_{\text{ок}} 0{,}00029}{e}. \qquad (37)$$

Очевидно, что предельно допустимое значение угла ε определяется разрешающей силой глаза.

Выражение для параллакса в диоптрийной мере получим из формулы Ньютона, примененной к плоскости изображений y' и y'' на рис. 13, *в*,

$$\Delta = -\frac{(f')^2_{\text{ок}}}{x'_{\text{ок}}}. \qquad (38)$$

Выражая $\frac{1}{x'}$ в диоптриях D, получим в общем виде

$$\Delta = \pm \frac{(f')^2_{\text{ок}} D}{1000}, \qquad (39)$$

откуда

$$D = \pm \frac{\Delta\, 1000}{(f')^2_{\text{ок}}} \qquad (40)$$

(знаки «плюс» и «минус» характеризуют положение изображений по правилу знаков прикладной оптики).

По формуле (39) рассчитывается шкала линейных перемещений окуляра при установке его по глазу в зависимости от различных значений сходимости лучей в диоптриях.

Переход от величины параллакса, измеренного со стороны окуляра, к аналогичной величине со стороны объектива может быть произведен следующим образом. Из рис. 13, *а* видно, что линейная величина Δ параллакса между изображением y' объекта и плоскостью M сетки является постоянной величиной в любом ходе лучей — и со стороны объектива и со стороны окуляра. Тогда, очевидно, имеет место равенство

$$\frac{(f')^2_{ок} D_{ок}}{1000} = \frac{(f')^2_{об} D_{об}}{1000},$$

откуда $D_{ок} = D_{об}\Gamma^2$ (D выражено в диоптриях).

Д. В. Гавриловым установлена зависимость между отрезком Δ и числом m волн λ, укладывающихся в высоту h сегмента сферической волны радиуса L, идущей от предмета $y_к$ на конечном расстоянии, вместо плоской волны, идущей из бесконечности (см. рис. 13, *в*).

Это выражение имеет вид

$$\Delta = \frac{8\lambda (f')^2_{ок} m}{K D^2_{зр.\ вых}}, \qquad (41)$$

где $K = \frac{r_и}{r_п}$ ($r_и$ — радиус использованной части зр. вых.; $r_п$ — полный радиус зр. вых.).

Вопрос о выборе допусков на параллакс довольно сложный. Распространено, например, мнение, что изображение объекта и сетка не видны одновременно, если расстояние между ними

$$\Delta \geqslant 20 \cdot \frac{(f')^2_{ок}}{1000}. \qquad (41, а)$$

При выборе значения ε обычно берут угол, равный $1'$ (т. е. в радианах 0,00029). Однако многие известные специалисты называют другие цифры: так, Д. Н. Лазарев приводит цифру $2'45''$; Д. Д. Максутов — $3 \div 7'$; Минарт — $3 \div 4'$. Предел разфокусировки, выраженный в длинах волн, может быть задан по критерию Рэлея, т. е. $m = 0{,}25\,\lambda$.

Для ориентировочных расчетов допусков на ε, D и m в зависимости от значения $D_{зр.\ вых}$ прибора приводится таблица, данная Д. В. Гавриловым.

Таблица

$D_{\text{зр. вых}}$, *мм*	1÷2	2,01÷3,0	3,01÷4,0	4,01÷5,0	5,01÷8
D, диоптрий	0,7	0,5	0,4	0,3	0,25
ε	1′12″	2′34″	3′26″	3′37″	4′44″
m (число λ)	0,118	0,422	0,788	1,054	2,013

Контроль параллакса

Величина параллакса оценивается: 1) в линейной мере по расстоянию Δ между плоскостями изображений y' и сетки M (см. рис. 13, *а* и *б*); 2) величиной угла ε между лучами, идущими от изображения бесконечно удаленного объекта y_∞ (одна стрелка), и лучами, идущими либо от изображения C' неправильно установленной сетки CM (две стрелки) (см. рис. 13, *а*), либо от предмета $y_к$, находящегося на конечном расстоянии L от объектива при правильно установленной сетке CM (три стрелки) (см. рис. 13, *в*); 3) разностью сходимостей лучей в диоптриях при фокусировке на плоскость изображения y' и плоскость CM сетки.

Приближенно можно определить параллакс путем перемещения глаза в плоскости выходного зрачка прибора (см. рис. 13, *б*), наблюдая смещение изображения y' бесконечно удаленного объекта относительно перекрестия сетки. Величина смещения δ оценивается в долях толщины штриха сетки.

Сравнительно редко параллакс измеряется числом m длин λ волн, укладывающихся в высоте h сегмента сферической волны радиуса L, исходящей из центра объекта $y_к$ (см. рис. 13, *в*).

В процессе сборки и юстировки обычно приходится пользоваться вторым и третьим способами, так как измерить отрезок Δ практически невозможно.

Оценка параллакса в угловой мере производится при помощи коллиматора *1* (рис. 15, *б*), сетка которого имеет шкалу, градуированную в градусах, минутах или секундах (рис. 15, *в*). Поместив испытуемый прибор *2* перед коллиматором *1*, а глаз наблюдателя — на край выходного зрачка прибора (рис. 15, *б*), наблюдают смещение δ изображения $A'B'$ сетки коллиматора по отношению к вертикали CD сетки прибора (рис. 15, *в*). Величина параллакса оценивается числом делений (и их долей) сетки коллиматора, укладывающихся в интервале между нитями $A'B'$ и CD.

При оценке параллакса в диоптрийной мере пользуются диоптрийной трубкой. Этот прибор (рис. 15, *г*) представляет собой телескопическую трубку, в которой окуляр *3* может перемещаться относительно сетки *4* для установки его по глазу наблюдателя, а объектив *5* движется по отношению к сетке (по стрелке *а*) для совмещения с ней изображения неправильно

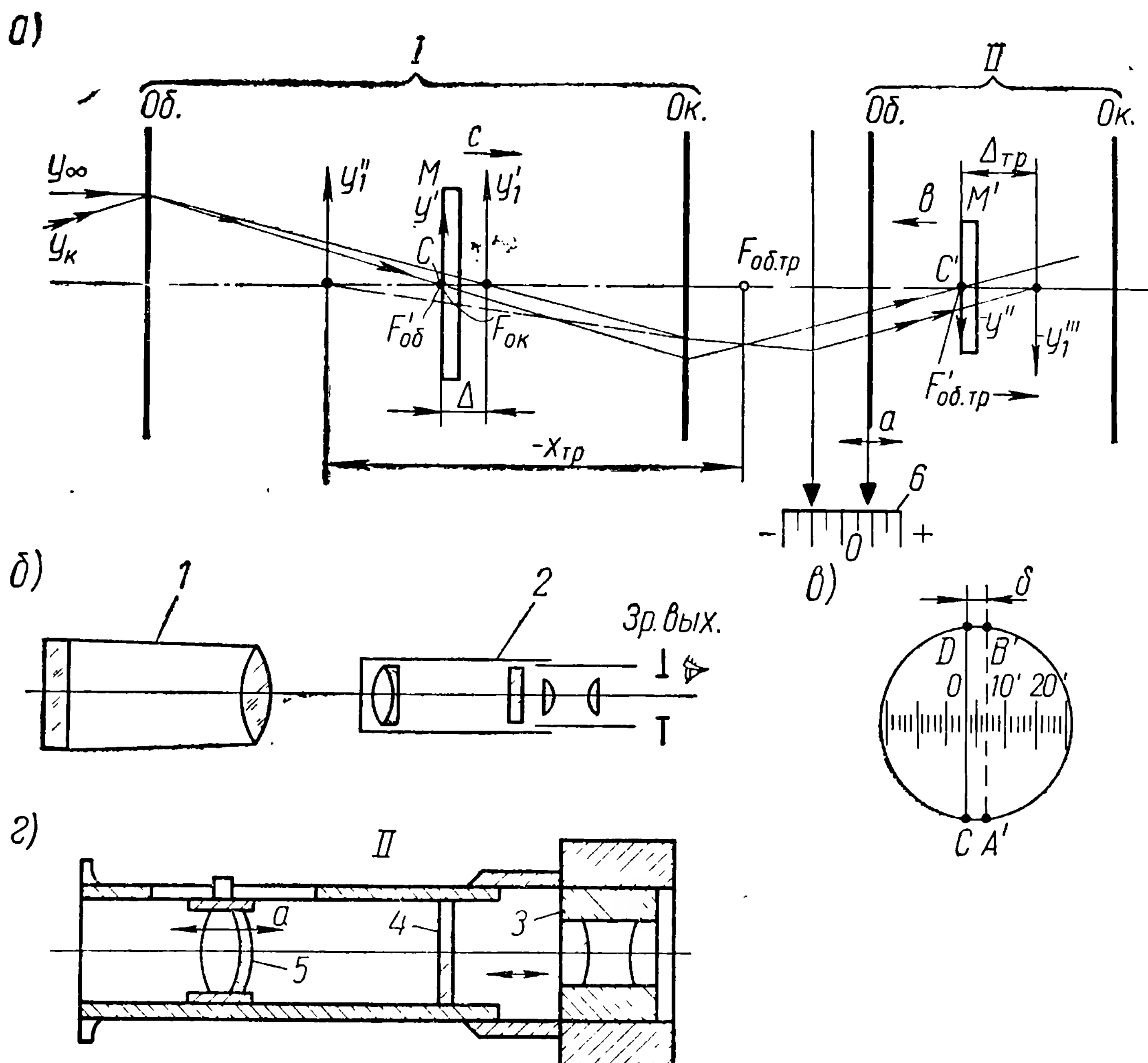


Рис. 15

установленной сетки *М* (рис. 13, *а*) либо изображения предмета $y_к$, находящегося на конечном расстоянии от объектива при правильно установленной сетке *М* (рис. 13, *в*).

При оценке параллакса испытуемого прибора *I* окуляр *3* диоптрийной трубки *II* (рис. 15, *г*) устанавливается по глазу на резкое видение изображения сетки трубки; объектив трубки устанавливается по шкале *6* в нулевое положение (рис. 15, *а*). Окуляр испытуемого прибора *I* также устанавливается на нуль так, чтобы сетка *М* прибора совпадала с передним фокусом окуляра.

Если в испытуемом приборе параллакса сетки *СМ* и изображения *y'* объекта нет (рис. 15, *а*) и задний фокус объсктива совмещен с передним фокусом окуляра, то вторичное изображение *y''* предмета совместится объективом диоптрийной трубки

с плоскостью $C'M'$ сетки диоптрийной трубки и будет резко видно. Если изображение y_1' объекта не будет совпадать с плоскостью CM сетки прибора, то его окуляр даст вторичное изображение y_1'' объекта. Это изображение будет предметом для объектива диоптрийной трубки, и его изображение y_1''' не будет совпадать с плоскостью $C'M'$ сетки диоптрийной трубки, следовательно, будет видно нерезко. Перемещая объектив диоптрийной трубки (по стрелке *a*), приводят изображение y_1''' в плоскость $C'M'$ сетки трубки и прочитывают величину параллакса в диоптриях по шкале *6* (рис. 15, *a*). Очевидно, что при смещении изображения y_1' объекта относительно переднего фокуса окуляра по направлению лучей света (по стрелке *c*) в ту же сторону смещается и изображение y_1''' в диоптрийной трубке, а объектив ее сдвигается в обратную сторону (по стрелке *b*).

Если и сетка прибора и изображение y' объекта не совпадают с совмещенными фокусами объектива и окуляра испытуемой трубки, то для определения параллакса фокусируют объектив диоптрийной трубки сначала на изображение сетки прибора, а затем на изображение объекта. Разность отсчетов в диоптриях по шкале *6* и даст меру параллакса.

Шкала линейных перемещений объектива диоптрийной трубки может быть рассчитана по формуле (39), где вместо $f'_{ок}$ следует писать $f'_{об}$, т. е.

$$\Delta_{тр} = \pm \frac{(f')^2_{об} D}{1000}. \qquad (42)$$

Например, если $\Delta = 1$ *мм* и $f'_{ок} = 20$ *мм*, то расходимость лучей после окуляра

$$\frac{1}{-x'} = D = -\frac{\Delta \cdot 1000}{(f')^2_{ок}} = -\frac{1 \cdot 1000}{400} = -2{,}5\ D.$$

Линейная величина перефокусировки объектива диоптрийной трубки, соответствующая этой сходимости в $-2{,}5\ D$ при $f_{тр} = 100$, будет равна

$$\Delta_{тр} = \frac{100 \cdot 100 \cdot 2{,}5}{1000} = 25\ мм.$$

Положительный знак значения отрезка $\Delta_{тр}$ понятен из рис. 15, *a* и правила знаков. Так как лучи выходят из окуляра испытуемого прибора расходящимся пучком, то изображение y_1''' должно находиться вправо от заднего фокуса объектива диоп-

трийной трубки. Отрезок $x_{тр}$ от переднего фокуса объектива диоптрийной трубки до изображения y''_1 отрицателен и, следовательно,

$$\Delta_{тр} = \frac{(f')^2_{об}}{-x_{тр}} = -\frac{(f')^2_{об} D_{тр}}{1000}; \qquad (43)$$

при $D = -2{,}5$ $\Delta_{тр}$ будет больше нуля.

При «косом» параллаксе, например при наклоне сетки коллиматора (см. рис. 14, *ж*), добиться резкого видения изображения сетки по всему полю путем перемещения объектива диоптрийной трубки невозможно. Оценить наклон плоскости сетки (или плоскости изображения объекта) можно при помощи: 1) диоптрийной трубки, 2) длиннофокусной трубы и 3) коллиматора и микроскопа.

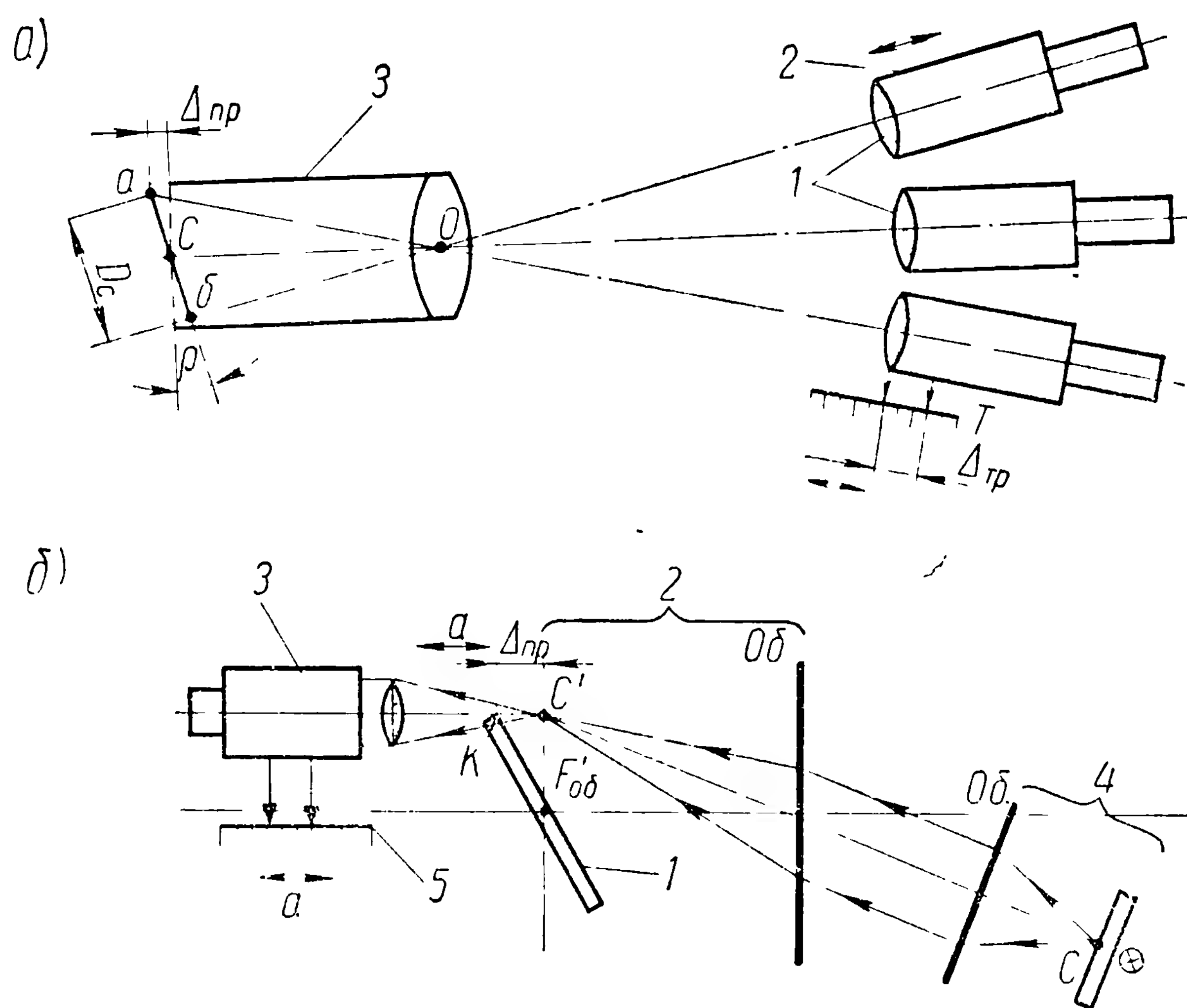


Рис. 16

При использовании первого способа фокусируют последовательно объектив диоптрийной трубки на центр сетки испытуемого прибора и на его края, визируя каждый раз через центр объектива прибора.

Разность отсчетов по шкале диоптрийной трубки при фокусировке на края и центр сетки дает в диоптриях величину наклона плоскости сетки. То же самое можно выполнить при помощи длиннофокусной зрительной трубы, имеющей либо внешнюю, либо внутреннюю фокусировку на близкий предмет (рис. 16, *а*).

Если такая труба 2 имеет отсчетную шкалу T, градуированную в линейной мере, то перекос $\Delta_{пр}$ края сетки прибора 3 легко найдется из соотношения

$$\frac{\Delta_{пр}}{\Delta_{тр}} = \frac{(f')^2_{пр}}{(f')^2_{тр}}, \qquad (44)$$

откуда

$$\Delta_{пр} = \frac{(f')^2_{пр}}{(f')^2_{тр}} \Delta_{тр}, \qquad (45)$$

где $f'_{пр}$ — фокусное расстояние объектива испытуемого прибора;
$f'_{тр}$ — фокусное расстояние объектива длиннофокусной трубы;
$\Delta_{тр}$ — линейная величина фокусировки трубки, отсчитываемая по соответствующей шкале T (для трубы с внешней фокусировкой это будет величина перемещения сетки с окуляром).

Для определения угла ρ наклона сетки необходимо разделить линейное значение $\Delta_{пр}$ на половину диаметра сетки, т. е.

$$\rho = \frac{2\Delta_{пр}}{Д_с}. \qquad (46)$$

Для определения наклона сетки 1 коллиматора 2 (рис. 16, *б*) при помощи микроскопа 3 и коллиматора 4 устанавливают последний так, чтобы изображение C' центра C его сетки проектировать на край поля испытуемого коллиматора 2 в фокальной плоскости объектива. Установив сзади сетки испытуемого коллиматора микроскоп 3, фокусируют его на резкое видение изображения C' сетки коллиматора 4. Если перекоса сетки нет, то при фокусировке на точку C' виден одновременно резко и край K сетки коллиматора. При наличии перекоса сетки для резкого видения ее края придется перефокусировать микроскоп, перемещая его по стрелке *а*. Разность положений микроскопа при фокусировке на изображение C' и край сетки, отсчитываемая по шкале 5, дает искомый перекос $\Delta_{пр}$ края сетки в линейной мере.

Установка сетки в оптической системе без параллакса (установка в «нулевое положение»)

Эта операция является одной из важнейших в сборке и юстировке. Казалось бы, что для установки соответствующей плоскости CM сетки (рис. 17, *а*) в фокус системы, например объектива, достаточно знать расстояние s' от последней поверхности объектива до его заднего фокуса $F'_{об}$. Тогда, отложив

это расстояние от последней поверхности объектива, можно определить точку $F'_{об}$.

Сделать это точно практически невозможно, так как объектив и сетка уже вмонтированы своими оправами в конструкцию прибора. Поэтому расстояние s' можно отложить только

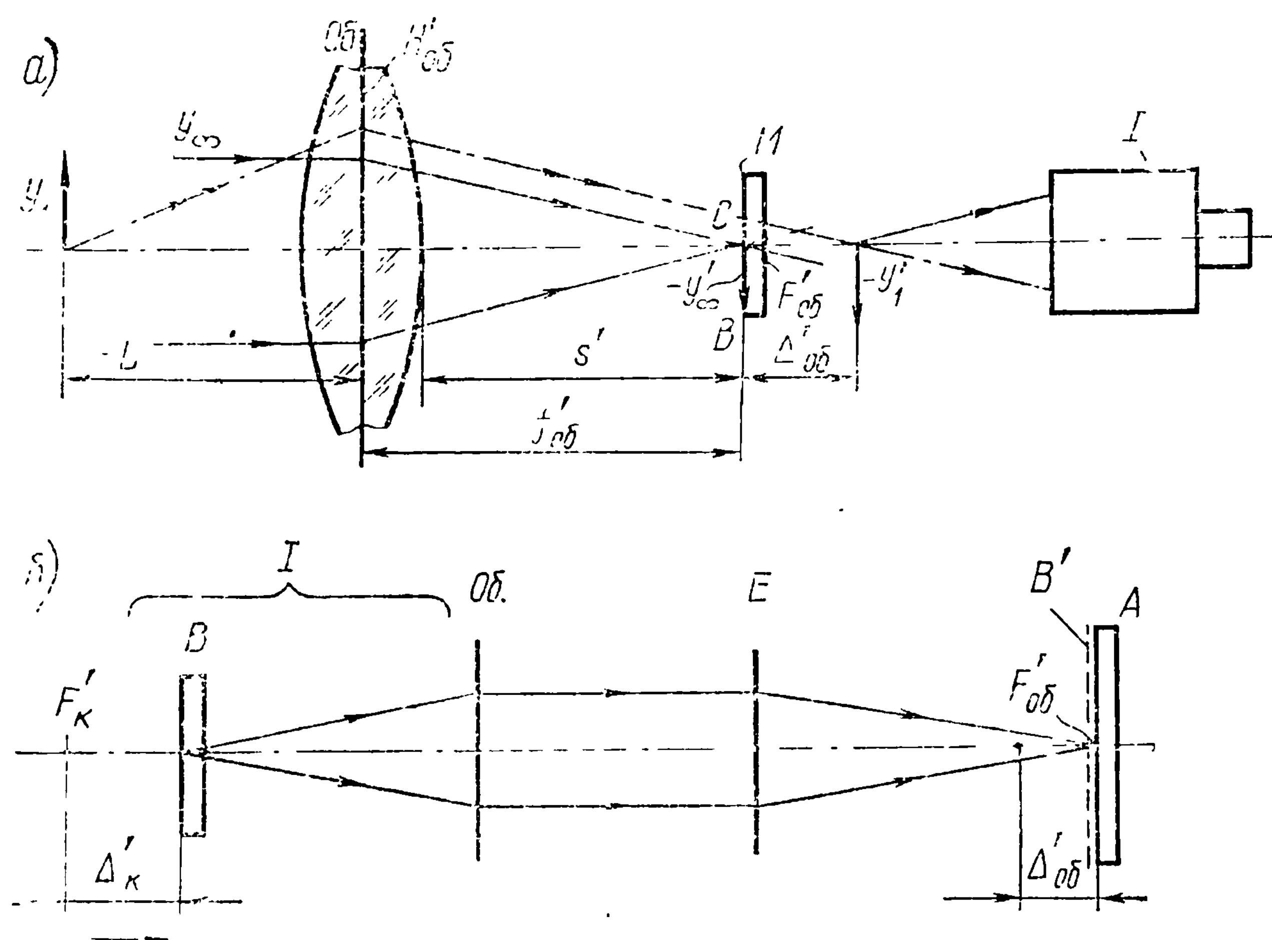


Рис. 17

приблизительно. Уточнение же положения точки $F'_{об}$ и совмещение ее с плоскостью сетки M достигаются различными способами: 1) по бесконечно удаленной точке; 2) по длиннофокусному хорошо выверенному коллиматору или зрительной трубе; 3) при помощи автоколлимационных окуляров; 4) с помощью зрительной трубы и пентапризмы; 5) при помощи зрительной трубы и плоскопараллельной пластинки; 6) методом трех коллиматоров. Эти методы наиболее полно освещены в исследованиях А. Г. Бартенева [3].

Установка сетки по бесконечно удаленной точке

В этом случае (рис. 17, *а*) получают при помощи объектива изображение y'_{∞} бесконечно удаленной точки y_{∞}, например звезды. Очевидно, совместив нужную плоскость CM сетки с изображением звезды без параллакса, приведем ее в фокальную плоскость объектива.

Ввиду того что изображение звезды получить в практических условиях обычно трудно, используют изображение y' предмета y_1, удаленного на значительное расстояние L. Если глаз аккомодирован на бесконечность, то наименьшее расстояние L, которым можно воспользоваться, определяется на основании

формулы прикладной оптики (например, Б. В. Фефилов «Прикладная оптика», стр. 142, формула 309):

$$L = P = \frac{2a\gamma_{зр}}{\varepsilon},$$

где $L = P$ — расстояние от зрачка входа до переднего плана;

$2\,a$ — диаметр зрачка входа;

$\gamma_{зр}$ — угловое увеличение в зрачках;

ε — разрешающая сила глаза.

Помня, что для телескопической системы $2\,a = 2\,a'\Gamma$ и $\gamma_{зр} = \Gamma$, получим

$$L = P = \frac{2a'\Gamma^2}{\varepsilon}. \qquad (47)$$

Очевидно, изображение — y_1' будет смещено вправо от заднего фокуса объектива на величину $\Delta_{об}'$, вычисленную с достаточной степенью точности по формуле

$$\Delta_{об}' = \frac{(f')^2_{об}}{-L}. \qquad (48)$$

Из формулы ясно, что увеличение расстояния L повышает точность установки сетки, которая практически помещается за фокусом объектива на расстоянии $\Delta_о'$, определенном по формуле (48).

В зависимости от конструкции прибора при юстировке перемещается либо объектив, либо сетка. Для повышения точности наводки наблюдение за резкостью изображения объекта можно выполнить при помощи микроскопа *I*.

Установка сетки при помощи длиннофокусного коллиматора или зрительной трубы

Пусть на рис. 17, *б* требуется установить сетку *А* в заднем фокусе $F_{об}'$ объектива *Е* при помощи коллиматора *I* с сеткой *В*. Так как эта сетка установлена сама с некоторой ошибкой $\Delta_к'$ относительно фокуса $F_к'$ объектива коллиматора, то изображение B' этой сетки будет смещено относительно заднего фокуса $F_{об}'$ испытуемого объектива в ту же сторону на величину $\Delta_{об}'$, которая явится ошибкой установки сетки *А*.

Написав формулу Ньютона для объективов коллиматора и испытуемого, получим

$$\Delta_к \Delta_к' = -(f')^2_к; \qquad (49)$$

$$\Delta_{об} \Delta_{об}' = -(f')^2_{об} \qquad (50)$$

(при условии, что для обоих коллиматоров предмет находится в бесконечности).

Поскольку практически $\Delta_к = \Delta_{об}$, то

$$\frac{(f')^2_к}{\Delta'_к} = \frac{(f')^2_{об}}{\Delta'_{об}}, \qquad (51)$$

откуда ошибка установки сетки

$$\Delta'_{об} = \frac{(f')^2_{об}}{(f')^2_к} \Delta'_к. \qquad (52)$$

Отсюда видно, что ошибка установки сетки обратно пропорциональна квадрату фокусного расстояния объектива коллиматора. Например, установка сетки трубки бинокля, объектив которой имеет фокусное расстояние $f'_{об} = 120$ *мм*, по коллиматору с $f'_к = 400$ *мм* и ошибкой установки сетки $\Delta'_к = 0{,}55$ *мм* будет произведена с ошибкой

$$\Delta'_{об} = \frac{120 \cdot 120}{400 \cdot 400} \cdot 0{,}55 = 0{,}05 \text{ мм}.$$

Все изложенное будет справедливо и для случая установки сетки при помощи зрительной трубы.

Установка сетки в нулевое положение при помощи трубы с автоколлимационными окулярами

Бóльшую точность установки сетки обеспечивают трубы с автоколлимационными окулярами, например Гаусса (рис. 18, *а*) и Аббе (рис. 18, *б*), имеющие так называемые марки. В окуляре Аббе маркой является светящаяся площадка, появляющаяся в поле зрения в результате отражения лучей света от плоскости гипотенузы призмочки *А* (рис. 18, *б*). В окуляре Гаусса маркой служит перекрестие y, освещаемое лампочкой, помещенной сбоку от окуляра (рис. 18, *г*).

Юстировка выполняется следующим образом. Перемещением окуляра *1* относительно устанавливаемой сетки *2* (рис. 18, *в* и *г*) добиваются ее резкого видения глазом наблюдателя. Установив за объективом *3* плоское зеркало *4*, перемещают объектив (или окуляр с сеткой) по стрелке *а* до тех пор, пока автоколлимационное изображение y'' марки y окуляра не совпадет с самой маркой y в плоскости сетки или (как это показано на рис. 18, *в*) с ее изображением y' без параллакса. Это будет в том случае, когда задний фокус объектива $F'_{об}$ будет совмещен с плоскостью сетки, т. е. когда лучи выйдут из объектива пучками, параллельными оси объектива. Если задний фокус объектива не бу-

дет совпадать с плоскостью сетки, то, как видно из рис. 18, *г*, автоколлимационное изображение y'' марки y сетки будет видно с параллаксом.

Из рис. 18, *г* видно также, что величина смещения $\Delta_{об}$ сетки относительно заднего фокуса $F'_{об}$ объектива равна величине сме-

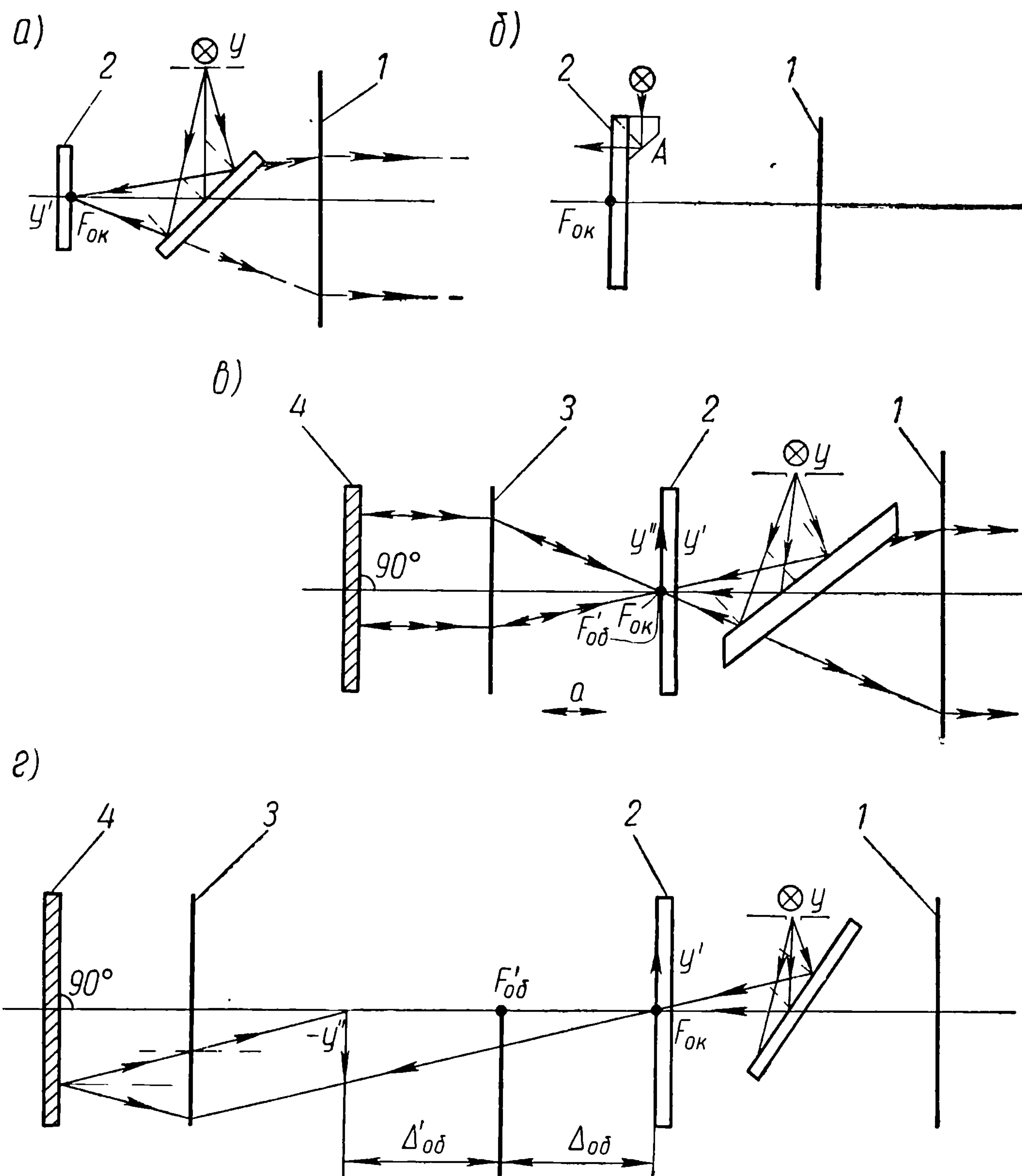


Рис. 18

щения $\Delta'_{об}$ автоколлимационного изображения y''. Действительно,

$$\frac{\Delta_{об}}{\Delta'_{об}} = \frac{(f')^2_{об}}{(f')^2_{об}}, \tag{53}$$

откуда

$$\Delta'_{об} = \Delta_{об}. \tag{54}$$

На чувствительность данного метода большое влияние оказывает точность полировки отражающей поверхности зеркала *4*, которая в некоторых случаях не должна выходить за пределы

половины интерференционной полосы. Необходимо, чтобы отражающая плоскость зеркала была строго нормальна оси объектива, так как иначе автоколлимационное изображение повернется на двойную угловую величину поворота зеркала, и при значительном фокусном расстоянии объектива увидеть автоколлимационное изображение марки в поле зрения окуляра будет очень трудно.

Установка сетки при помощи зрительной трубы и пентапризмы

Предположим (рис. 19, *а*), что нужно установить сетку *1* в фокус $F'_{об}$ объектива *2* при помощи длиннофокусной зрительной трубы *3*. Если сетка *1* совмещена с $F'_{об}$, то из объектива выйдут пучки лучей, параллельные его оси, и при любом положении зрительной трубы (положение *I* и *II*), когда ее ось параллельна оси объектива *2*, изображение C' креста C устанавливаемой сетки *1* будет совмещено с перекрестием K сетки зрительной трубы.

Если сетка *1* смещена относительно $F'_{об}$ на величину $\Delta'_{об}$, то лучи будут выходить из объектива непараллельно его оси объектива (лучи с крестиком) и дадут изображение C' перекрестия сетки C, смещенное относительно центра K сетки трубы на величину y (положение трубы I').

При перемещении трубы (стрелка *а*) в положение II' (т. е. поместив объектив трубы против другой половины объектива *2*) увидим изображение C'', смещенное уже в другую сторону от креста K на такую же величину y.

Зная $f'_{об}$, $f'_{тр}$, $D_{об}$ и измерив величину y по делениям сетки трубы или окулярным микрометром, можно найти величину ошибки $\Delta'_{об}$ установки сетки *1*.

Из рис. 19, *а* следует, что

$$\Delta'_{об} = -\frac{(f')^2_{об}}{\Delta_{об}}; \qquad (55)$$

$$y = f'_{тр}\varepsilon, \qquad (56)$$

где с достаточной точностью

$$\varepsilon = \frac{D_{об}}{2\,\Delta_{об}}. \qquad (57)$$

Тогда, зная, что $\Delta_{об} = \frac{D_{об}}{2\varepsilon}$, и помня (56) и (57), получим

$$\Delta'_{об} = \frac{(f')^2_{об} 2\varepsilon}{D_{об}} = \frac{2\,(f')^2_{об} y}{D_{об} f'_{тр}}, \qquad (58)$$

так как $y = n\delta$ (рис. 19, *б*), где n — число делений сетки, на которое сместилось изображение C', а δ — цена одного деления ее. Окончательно имеем

$$\Delta'_{об} = \frac{2(f')^2_{об} n\delta}{D_{об} f'_{тр}}. \qquad (59)$$

Расстояние $y = n\delta$ есть величина, видимая через окуляр с увеличением $\Gamma_{ок} = \frac{250}{f'_{ок}}$. При учете этого формула (59) примет вид

$$\Delta'_{об} = \frac{2(f')^2_{об} y}{D_{об} f'_{тр} \Gamma_{ок}} = \frac{2(f')^2_{об} y f'_{ок}}{250 D_{об} f'_{тр}} = \frac{2(f')^2_{об} n\delta f'_{ок}}{250 D_{об} f'_{тр}}. \qquad (60)$$

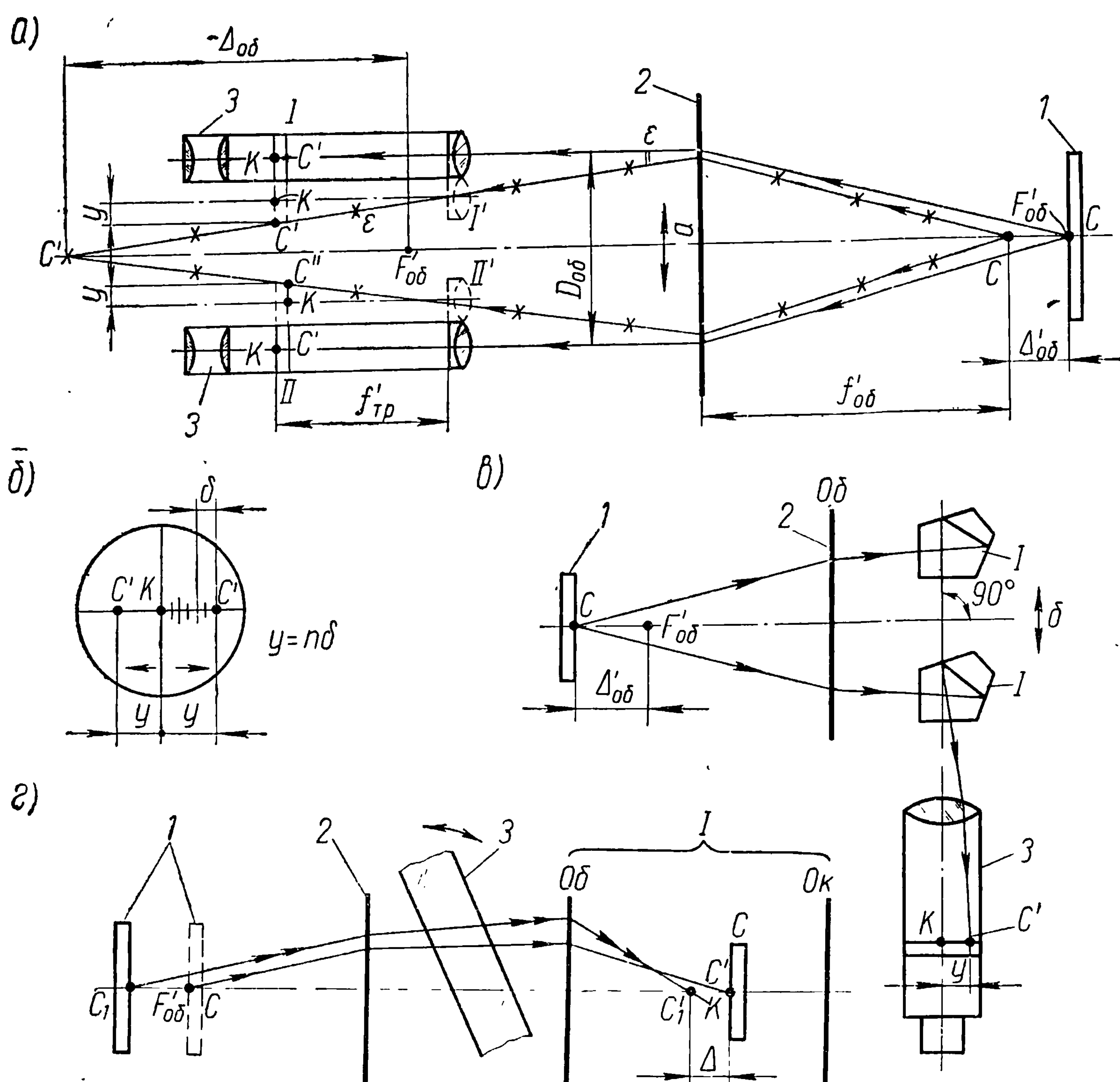


Рис. 19

Очевидно, чем меньше отрезок y, который можно оценить, тем точнее можно установить сетку. Поэтому выгодно брать трубу с короткофокусным окуляром, увеличение которого будет значительным.

При правильной установке сетки в фокусе объектива и передвижении зрительной трубы *3* параллельно оси объектива (по стрелке *а*) смещения изображения C' перекрестия сетки C относительно перекрестия K не происходит ($y=0$).

Указанная методика работы возможна, очевидно, когда диаметр объектива *2* значительно больше диаметра объектива зрительной трубы *3*. В большинстве случаев этого не бывает и перемещать зрительную трубу в нужных пределах невозможно. Это затруднение можно преодолеть, используя пентапризму небольших размеров.

Из рис. 19, *в* видно, что, перемещая пентапризму *1* по стрелке *б* перед объективом *2* в направлении оси неподвижной зрительной трубы *3*, расположенной перпендикулярно оси объектива, можно достичь тех же результатов, что и при смещении трубы *3* без пентапризмы (рис. 19, *а*). Сетка *1* перемещается вдоль оси объектива *2* до тех пор, пока при любом положении пентапризмы изображение C' перекрестия C сетки *1* будет совмещено с крестом K сетки трубы.

Сравнительно редко для установки сетки в нулевое положение используются качающаяся плоскопараллельная пластинка и зрительная труба. Из рис. 19, *г* ясно, что если юстируемая сетка *1* находится точно в фокусе $F'_{об}$ (точка C) объектива *2*, то при любом наклоне пластинки *3*, находящейся в параллельном ходе лучей, изображение C' перекрестия C сетки *1* будет совмещено с крестом K сетки трубы *I*. При несовпадении сетки *1* с фокусом объектива лучи света будут выходить из него пучком, не параллельным оси трубы *I*, и при изменении наклона пластинки изображение C'_1 креста C_1 сетки *1* будет смещаться относительно перекрестия K на величину Δ. Этот метод обладает высокой чувствительностью. Практически целесообразно пользоваться нивелиром с поворотной плоскопараллельной пластинкой.

Установка сетки с помощью трех одинаковых зрительных труб, или коллиматоров

Этот метод обеспечивает высокую точность установки сетки даже при сравнительно короткофокусных объективах. Сущность метода юстировки заключается в следующем. Пусть имеются три зрительные трубы (или коллиматора), сетки которых смещены относительно фокусов объектива на различные по величине и знаку отрезки Δ_1, Δ_2 и Δ_3 (рис. 20, *а*, *б*, *в*). Выберем сначала в качестве эталонной трубу *I* и отъюстируем по ней трубы *II* и *III*. Устанавливая сетку трубы *II* по сетке трубы *I* (рис. 20, *а*), замечаем, что знаки ошибок Δ_1, и Δ'_2 различны,

причем

$$\frac{\Delta_2'}{\Delta_1} = \frac{(f')_2^2}{(f')_1^2}. \tag{61}$$

Юстируя трубу *III* по трубе *I* (рис. 20, *г*), запишем аналогично

$$\frac{\Delta_3'}{\Delta_1} = \frac{(f')_3^2}{(f')_1^2} \tag{62}$$

или, что то же самое,

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_3'} = \frac{(f')_1^2}{(f')_3^2}. \tag{63}$$

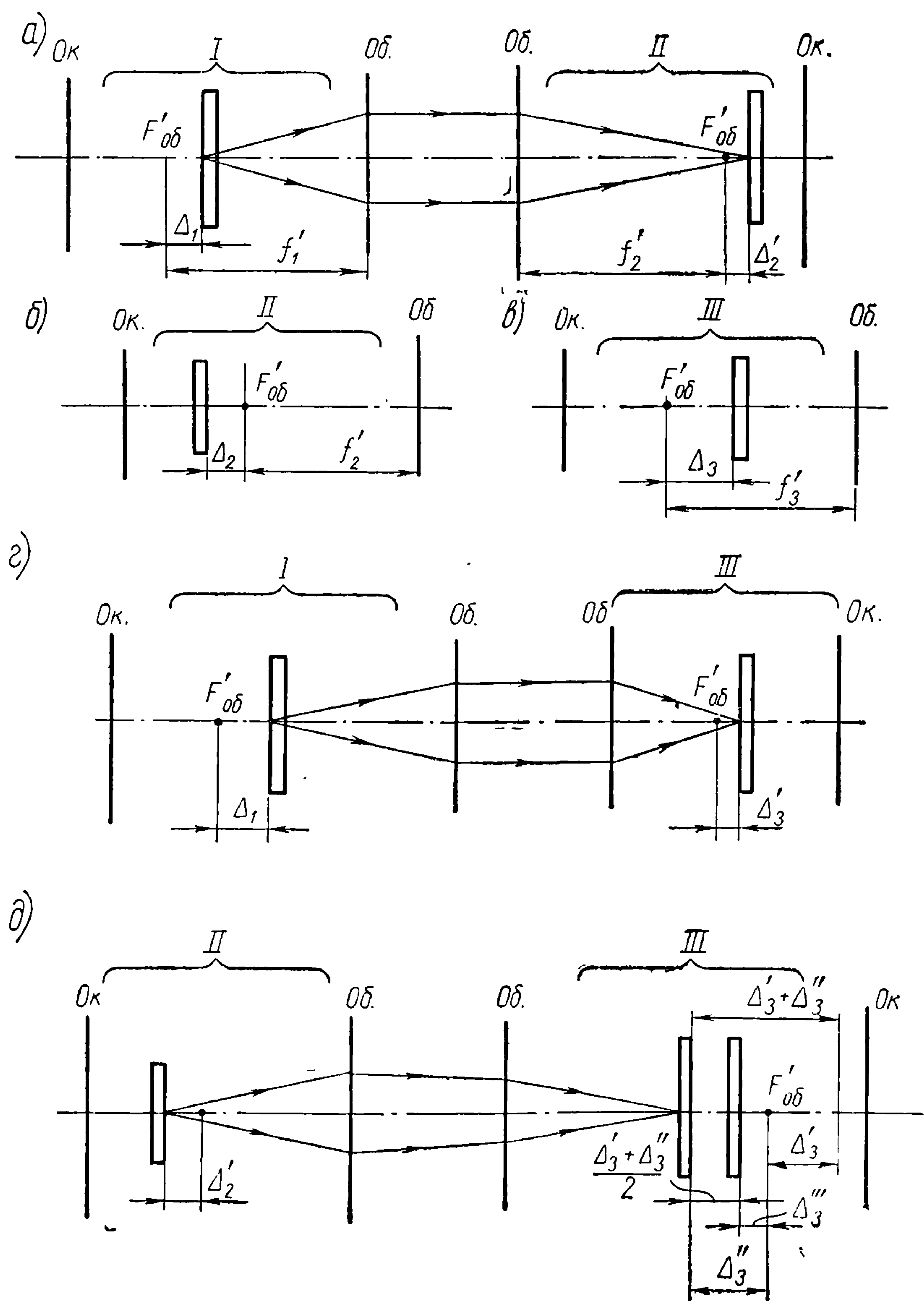


Рис. 20

Отъюстируем теперь трубу *III* по трубе *II* (рис. 20, *д*). При этом сетка будет смещена от фокуса объектива на величину Δ_3'', противоположную смещению сетки при юстировке ее по трубе *I*. Аналогично предыдущему имеем

$$\frac{\Delta_3''}{\Delta_2'} = \frac{(f')_3^2}{(f')_2^2}. \tag{64}$$

Перемножая равенства (61), (63) и (64), получим

$$\frac{\Delta_1 \Delta_2' \Delta_3''}{\Delta_1 \Delta_2' \Delta_3'} = \frac{(f')_1^2 (f')_2^2 (f')_3^2}{(f')_1^2 (f')_2^2 (f')_3^2}, \tag{65}$$

откуда $\frac{\Delta_3''}{\Delta_3'} = 1{,}0$ или, сравнивая рис. 20, *г* и 20, *д*,

$$\Delta_3'' = -\Delta_3'. \tag{66}$$

Это означает, что ошибки Δ установки сетки трубы *III* при юстировке по сеткам труб *I* и *II* равны по абсолютной величине и противоположны по знаку *.

Фиксируя положения сетки трубы *III* при помощи риски на трубе, можно измерить интервал $\Delta_3' + \Delta_3''$. Тогда положение сетки трубы *III* будет определено размером $\frac{\Delta_3' + \Delta_3''}{2}$ (рис. 20, *д*). Установив таким образом сетку трубы *III*, будем иметь, конечше исходной ошибки Δ_3.
но, ошибку установки Δ_3''', однако она будет значительно мень-

Теперь в качестве эталонной трубы выберем именно трубу *III* и отъюстируем по ней трубу *II*, повторяя юстировки вышеуказанным образом. Далее таким же образом отъюстируем и трубу *I*. Очевидно, что после каждой новой серии юстировок точность установки сеток будет возрастать. Поэтому данный метод иногда называют методом абсолютной выверки. Окончательную погрешность установки сетки после проведения определенных серий юстировок можно определить на основе теории ошибок Гаусса.

§ 10. Центрировка оптической системы и положение ее визирной оси

Сущность центрировки системы и причины ее нарушения

Оптическая система прибора должна быть центрирована, так как расчет качества изображения и оптических свойств прибора производится именно в этом предположении.

---

* На рис. 20, *г* и *д* сознательно показано, что $\Delta_3' \neq \Delta_3''$. При юстировке равенство этих отрезков не видно и доказывается только математически.

Нарушение центрировки системы ведет к ухудшению качества изображения и разрешающей силы системы, что недопустимо.

В процессе создания оптического прибора операция центрировки оптической системы производится многократно.

В оптическом цехе центрируются все одиночные линзы (рис. 21, *а*) и склеенные линзовые блоки (рис. 21, *б*). В первом случае совмещается оптическая ось OO' линзы с ее геометрической осью CC', вследствие чего линза становится симметричной относительно оси OO' (толщина линзы Δ постоянна). Во

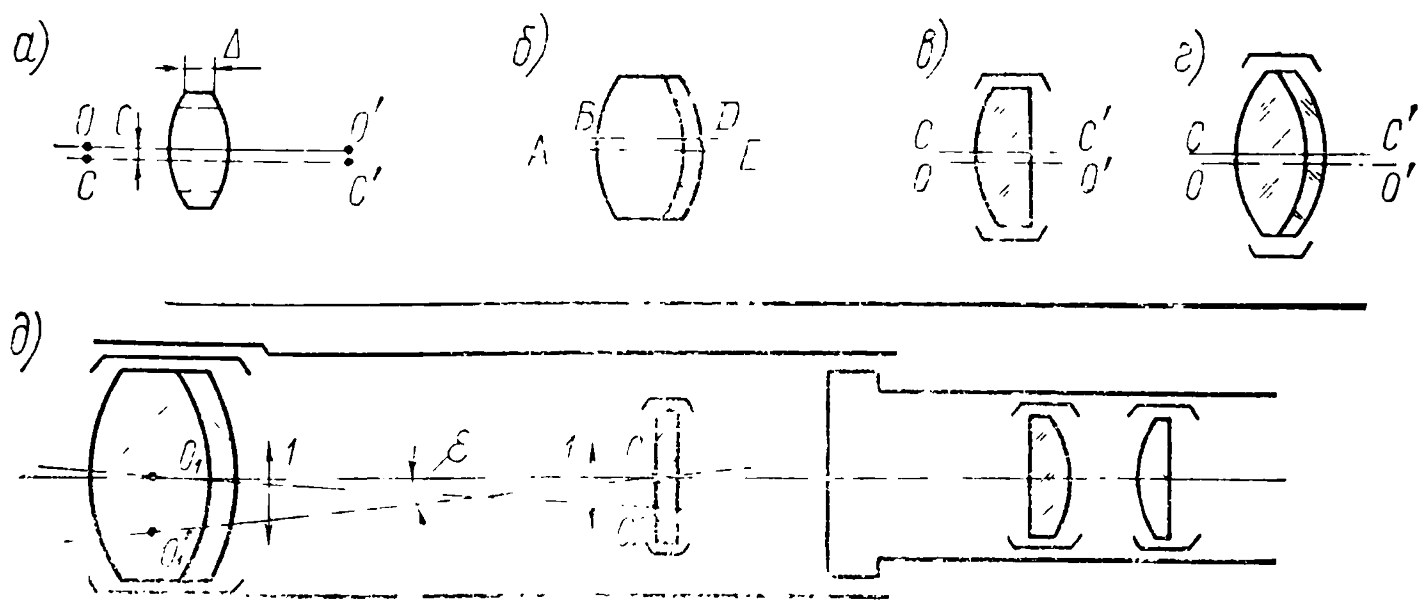


Рис. 21

втором случае совмещаются оптические оси AE и BD склеиваемых линз.

В сборочных цехах все линзы центрируются при закреплении их в оправах так, чтобы оптическая ось OO' линз или склеенных блоков совпадала с геометрической осью CC' оправ (рис. 21, *в* и *г*). Тогда при сборке линз в оправах с основной трубой прибора (рис. 21, *д*) оптические оси линз будут совпадать друг с другом и с геометрической осью трубы.

Визирная ось трубы определяется прямой O_1C, проходящей через главные точки объектива и центр сетки (рис. 21, *д*). При правильной сборке эта ось должна совпадать с геометрической осью трубы. Это облегчает установку трубы в вертикальное или горизонтальное положение, что особенно важно в прицельных трубах с качающимися и вращающимися призмами при измерении вертикальных и горизонтальных углов.

Как видно из рис. 21, *д*, смещение объектива или сетки перпендикулярно оси трубы по стрелке *1* изменяет направление визирной оси системы, например $O'C$ или $O_1C'_1$, вызывая децентрировку системы на угол ε. Такое перемещение указанных деталей является основным при юстировке положения визирной оси прибора.

В нужных случаях в приборе заранее предусматриваются устройства, позволяющие сместить объектив или сетку. Обычно для смещения объектива используется эксцентриковое кольцо в оправе. Как видно из рис. 22, *а*, при вращении разнотолщинного кольца *1* с объективом *2* в оправе *3* относительно оси O_2O_2 центр объектива O_1 будет перемещаться по кругу радиуса O_1O_2, и максимальная величина вертикального перемещения оси объектива будет равна $2O_1O_2$.

Сравнительно редко смещение объектива производится при помощи четырех винтов (рис. 22, *б*). Однако данный метод ши-

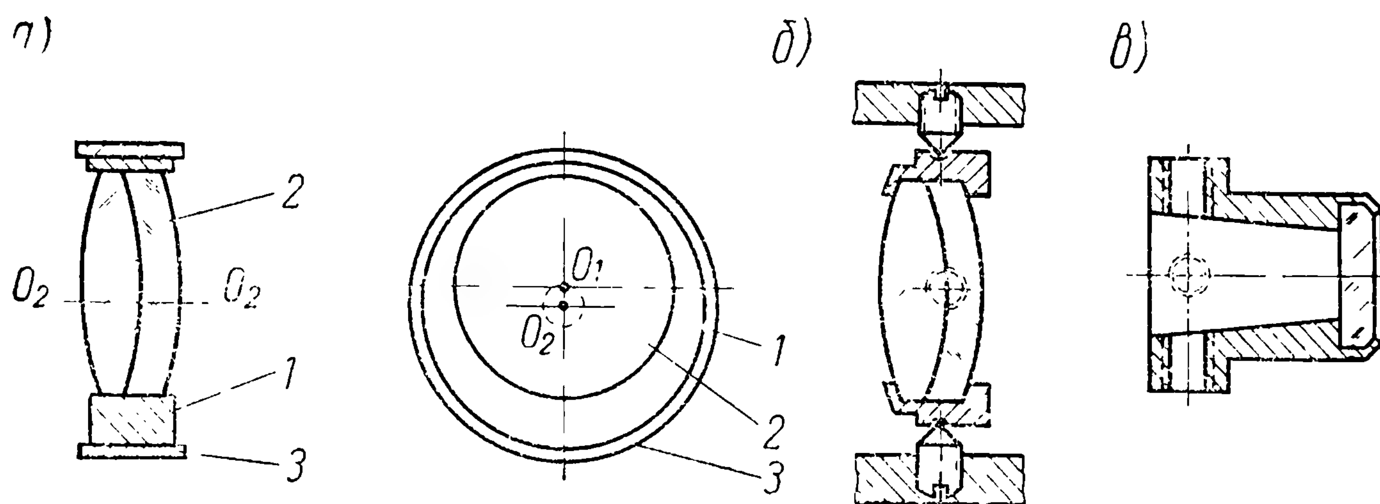


Рис. 22

роко применяется при регулировке центра сеток (рис. 22, *в*).

Помимо перемещений объектива и сетки, применяемых обычно в целях юстировки прибора, на положение его визирной оси оказывают влияние также неточность изготовления некоторых оптических деталей, их повороты и смещения: 1) клиновидность защитного стекла (рис. 23, *а*) или призмы (рис. 23, *б*), или введение в систему специального выверочного клина (см. § 50. рис. 69, дет. *40*); 2) смещения и повороты зеркал или призм и плоскопараллельных пластинок, установленных между объективом и сеткой (рис. 23, *в*, *г*, *д*, *е*); 3) смещение линз, например оборачивающих систем, расположенных между объективом и сеткой (рис. 23, *ж*).

Из рис. 23, *а* видно, что клин перед объективом смещает изображение K' визируемой точки K по отношению к центру C сетки на постоянную величину

$$\Delta = f'\omega, \qquad (67)$$

где

$$\omega = (n - 1)\sigma; \qquad (68)$$

σ — величина преломляющего угла клина.

Очевидно, при повороте клина вокруг геометрической оси трубы точка C пересечения визирного луча с сеткой будет описывать круг с радиусом, равным Δ. Введение в оптическую систему такого клина является одним из способов корректировки

положения визирной оси прибора. Ясно, что такое же действие вызовет и клиновидность σ призмы, установленной перед объективом (рис. 23, *б*).

Из рис. 23, *в* видно, что поворот зеркала *1* на углы α приводит к смещению луча в плоскости сетки на величину

$$\Delta = f' 2\alpha \tag{69}$$

и наклону визирной оси O_1C' на угол

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{f'_{об}}. \tag{70}$$

Как видно из рис. 23, *г*, поступательное перемещение зеркала AB по горизонтали и вертикали (стрелки *б* и *а*) на величину Δ (положения A_1B_1 и A_2B_2) приводит к децентрировке оси на угол $\varepsilon = \frac{\Delta}{f'_{об}}$. При этом, как было указано в § 9, появляется параллакс изображения объектива и сетки.

Если в системе имеются два зеркала или призма с двумя отражающими гранями AB и BD (рис. 23, *д*) и обе ее отражающие грани сдвинулись поступательно на величину Δ, то децентрировка на сетке будет равна 2Δ, а визирная ось наклонится на угол (рис. 23, *в*)

$$\varepsilon = \frac{2\Delta}{f'_{об}}. \tag{71}$$

Нетрудно видеть, что при наличии в системе двух зеркал децентрировка, появившаяся в результате неправильной установки одной детали, может быть исправлена соответствующим перемещением другой.

На рис. 23, *е* показана схема децентрировки вследствие наклона плоскопараллельной пластинки, помещенной между объективом и сеткой. Величина смещения оси на сетке

$$\Delta = \frac{d(n-1)\rho}{n}, \tag{72}$$

где d — толщина пластинки;
n — показатель преломления пластинки;
ρ — угол поворота пластинки.

Наклон визирной оси в этом случае

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{f'_{об}} = \frac{d\rho(n-1)}{nf'_{об}}. \tag{73}$$

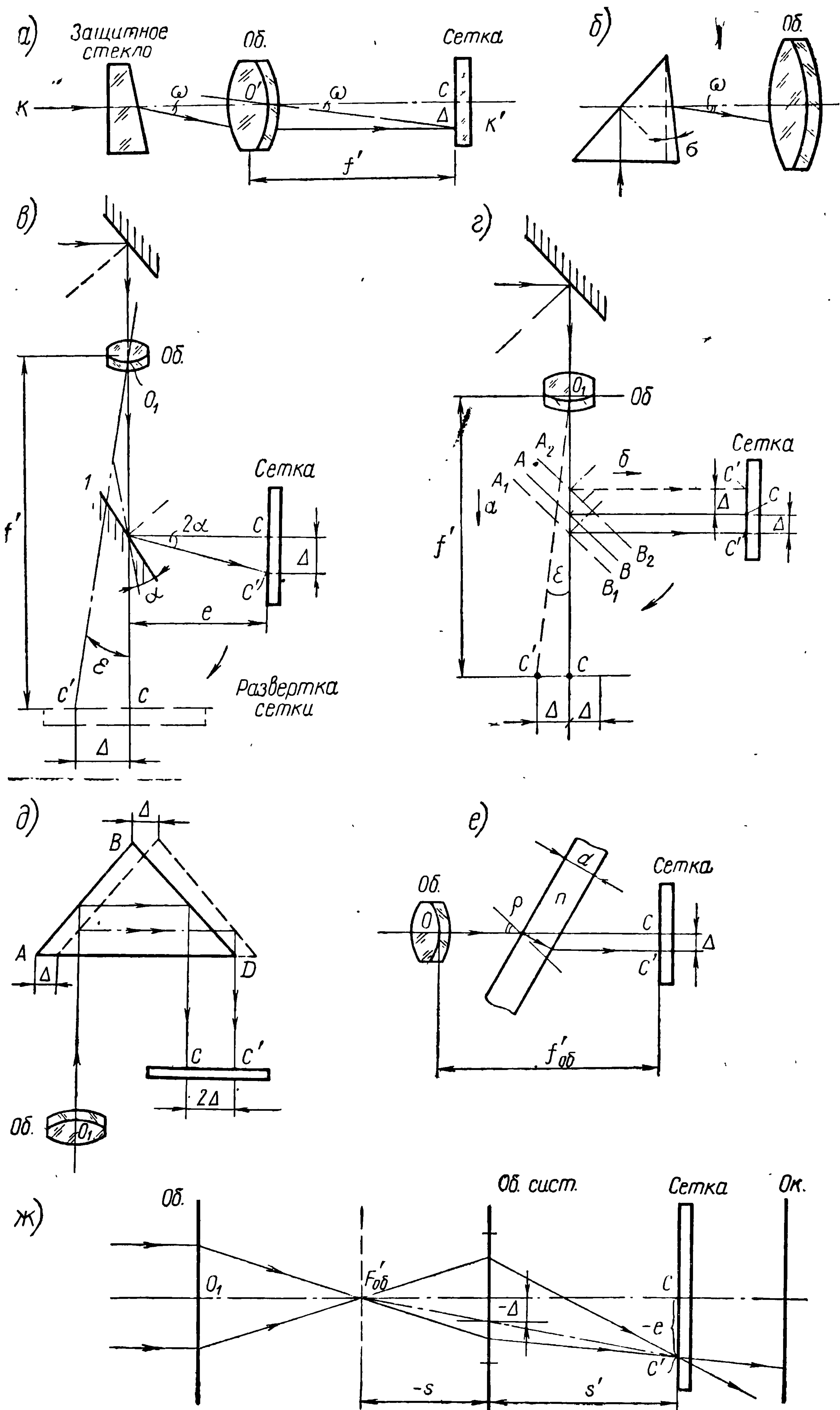

а)
Защитное стекло
Об.
Сетка
б)
Об.
в)
Об.
Сетка
Развертка сетки
г)
Об
Сетка
д)
Об.
е)
Об.
Сетка
ж)
Об.
Об. сист.
Сетка
Ок.

Рис. 23

Смещение оборачивающей системы на величину Δ вызовет линейную величину децентрировки

$$e = -\frac{\Delta(-s + s')}{s},$$

легко определяемую из рис. 23, *ж*.

Центрировка и контроль центрировки линз и их блоков в оправах

Различают четыре основных способа центрировки: 1) по блику; 2) при помощи автоколлимационной трубы; 3) по искусственной звезде; 4) интерференционным способом Максутова.

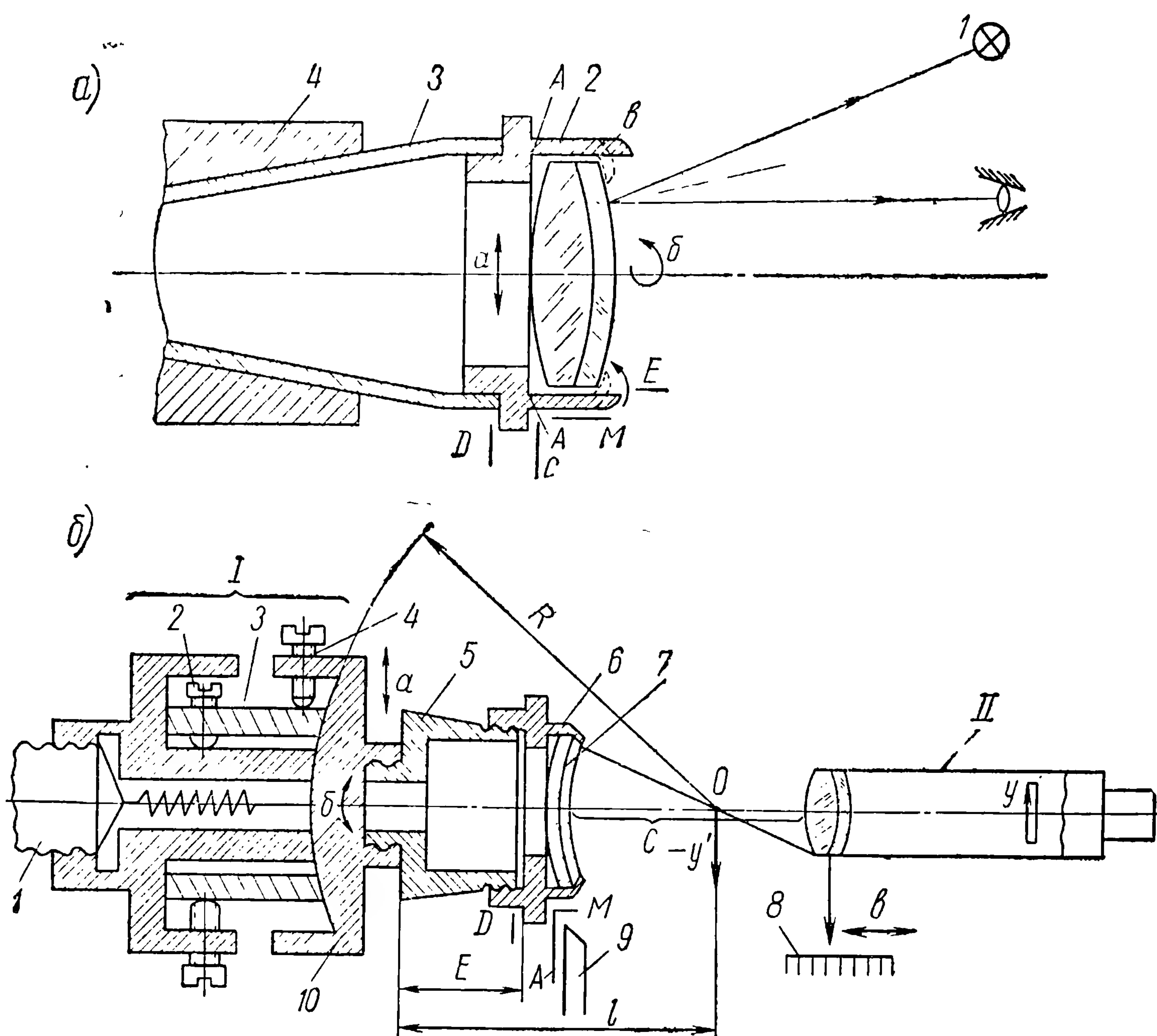


Рис. 24

В большинстве случаев эти методы используются и для контроля центрировки.

Метод центрировки линз по блику, применяемый в оптическом цехе для одиночных линз и склеенных блоков (рис. 21, *а* и *б*), подробно освещен в курсе Бардина А. Н. «Технология оптического стекла» («Высшая школа», 1963 г.). Центрировка линзы в оправе по блику (рис. 21, *в* и *г*) производится двумя способами. В первом случае (рис. 24, *а*) посадочные поверхности *АА* и *Е* оправы *2* под линзу, а также поверхности *D*, *С* и *М*,

протачиваются относительно оси точно выверенного шпинделя *4* станка.

В процессе закрепления в оправе линза центрируется «по оправе» до совмещения ее оптической оси с осью шпинделя. Процесс центрировки заключается в следующем. Оправа *2* с линзой (рис. 24, *а*) закрепляются в патроне или оправке *3* на хорошо выверенном шпинделе *4* станка. Справа от оправы с линзой помещают источник света *1* (лампочку) и наблюдают глазом изображения лампочки, получаемые от внешних поверхностей линзы (или блока). Перемещая линзу в оправе по стрелкам *а* и *б*, добиваются, чтобы изображения лампочки были неподвижны при вращающемся шпинделе. После этого буртик *в* оправы прижимается (вальцуется) к линзе, фиксируя ее положение (пунктирное изображение буртика). В этом случае оптическая ось линзы совместится с осью оправы.

Для повышения точности центрировки при малой величине «биения» изображений лампочек для их наблюдения следует применять микроскоп. Данный метод центрировки по блику применяется при закреплении линз в оправе завальцовкой (подробно см. § 26).

При закреплении в оправе линза может несколько сместиться, что понизит точность центрировки. Этот недостаток устраняется при втором методе центрировки — методе блика «по линзе». В этом случае сначала закрепляют (завальцовывают) линзу *7* в оправе *6* (рис. 24, *б*), потом совмещают ось линзы с осью шпинделя *1* станка и, наконец, протачивают посадочные цилиндрическую *М* и торцовые поверхности *А* и *D* оправы относительно оси шпинделя.

Такой метод центрировки осуществляется методом автоколлимации при помощи трубки Забелина. В этом случае (рис. 24, *б*) линза в оправе *6* устанавливается в переходной оправе *5*, закрепляемой в специальном патроне *I*, который навинчивается на точно выверенный (до 3÷5 *мкм*) шпиндель *1* станка. При помощи трех винтов *2* и муфты *3* оправка *5* может перемещаться перпендикулярно оси станка (по стрелке *а*), а при помощи трех винтов *4* и сегмента *10* поворачиваться (по стрелке *б*). В задней бабке станка устанавливается автоколлимационная трубка *II*, имеющая возможность перемещаться вдоль оси шпинделя (по стрелке *в*).

При центрировке линзы *7* перемещают автоколлимационную трубку *II* (или ее объектив) так, чтобы получить изображение *у'* марки *у* трубки в центре кривизны *О* одной из поверхностей линзы, т. е. в так называемой автоколлимационной точке. Если оптическая ось линзы не совпадает с осью шпинделя *1*, то при вращении оправы с линзой изображение марки трубки будет «бить». Это биение устраняется сначала перемещением муфты *3* при наблюдении изображения, полученного от поверхности лин-

зы, ближайшей к трубке. При этом центр сферы ближайшей поверхности приводится на ось шпинделя станка и далее при наблюдении изображения от второй поверхности линзы смещением сегмента *10* на ось шпинделя приводится центр второй сферы линзы (склеенные поверхности компонентов во внимание не принимаются).

Положение трубки относительно автоколлимационных точек линзы устанавливается по шкале *8*, учитывающей размеры *R*,

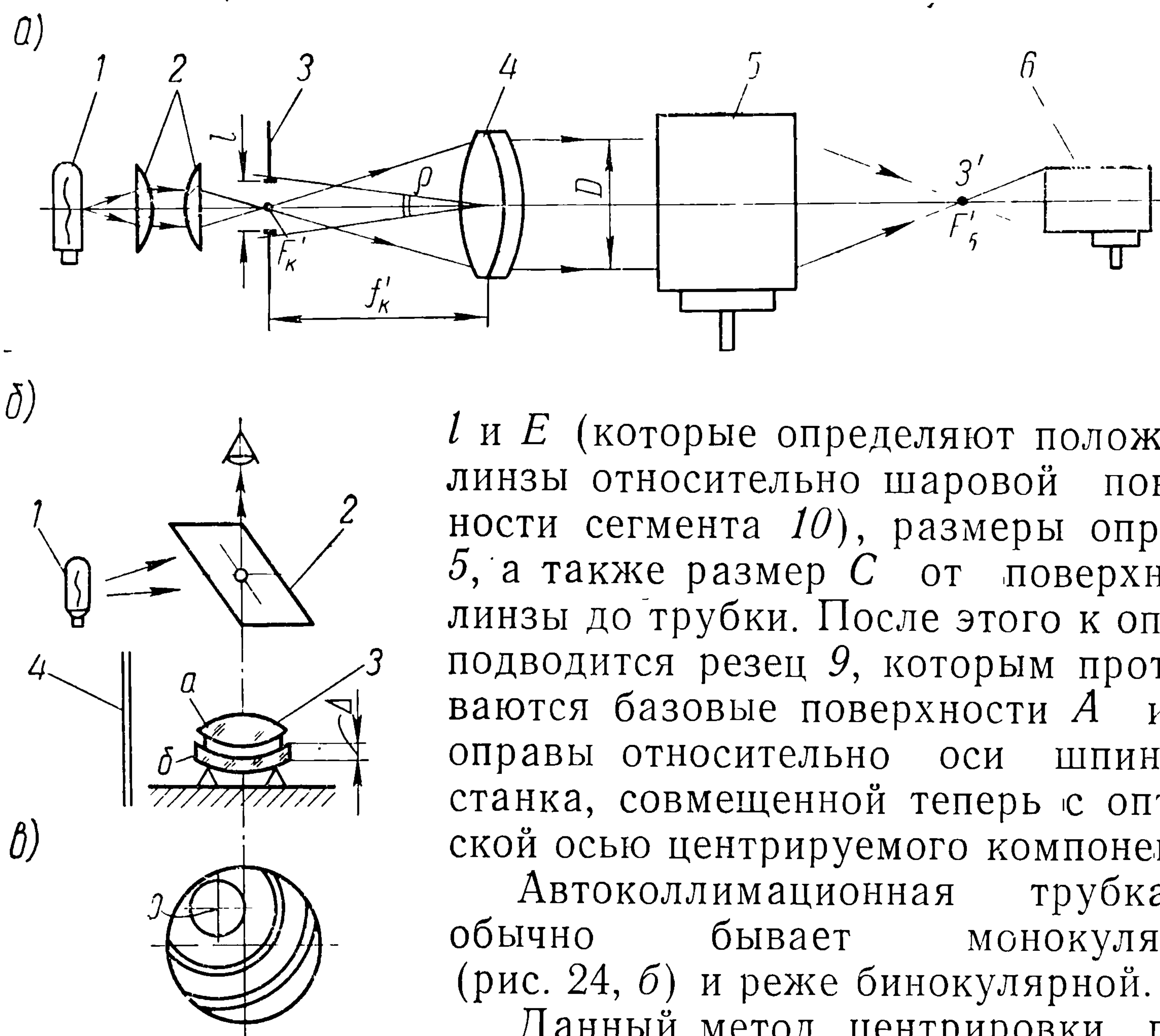


Рис. 25

l и *E* (которые определяют положение линзы относительно шаровой поверхности сегмента *10*), размеры оправки *5*, а также размер *C* от поверхности линзы до трубки. После этого к оправе подводится резец *9*, которым протачиваются базовые поверхности *A* и *M* оправы относительно оси шпинделя станка, совмещенной теперь с оптической осью центрируемого компонента.

Автоколлимационная трубка *11* обычно бывает монокулярной (рис. 24, *б*) и реже бинокулярной.

Данный метод центрировки получил применение главным образом при центрировке линз некоторых типов микро- и фотообъективов (см. § 33).

Центрировка по искусственной звезде применяется при креплении линз зажимным кольцом (см. § 26) главным образом при сборке объективов, состоящих из нескольких линз, отделенных воздушными промежутками. В этом случае каждая линза (или блок) не центрируется в своей оправе. Путем разворота в оправе одной линзы (реже двух) относительно других неподвижных добиваются наименьшей деформации световой волны, возникающей за счет децентрировки всех линзовых компонентов относительно оси оправы. Очевидно, при этом оценивается качество центрировки всего объектива, а также качество его изображения, поскольку на деформацию световой волны оказывают влияние и аберрации системы.

На рис. 25, *а* дана схема установки для контроля центрировки объектива методом искусственной звезды. Источник света *1* (лучше монохроматический) освещает при помощи конденсора *2* точечное отверстие *3*, устанавливаемое в фокальной плоскости объектива *4* коллиматора. Поскольку отверстие мало, а его изображение находится в бесконечности, то оно и получило название искусственной звезды. Испытуемый объектив *5* дает в своей фокальной плоскости дифракционное изображение *3'* звезды, наблюдаемое при помощи микроскопа *6*. Очевидно, для получения дифракционного изображения светящейся точки необходимо, чтобы угловая величина ρ диаметра l точки была меньше разрешающей силы объектива коллиматора, т. е. чтобы

$$\rho \leqslant \frac{140}{D}, \qquad (74)$$

где D — диаметр зрачка входа объектива.

Полагая

$$l = f'_{к}\rho, \qquad (75)$$

имеем

$$\rho = \frac{l}{f'_{к}} \cdot 206\,000; \qquad (76)$$

$$l \leqslant 0{,}0006 \cdot \frac{f'_{к}}{D}, \qquad (77)$$

где $f'_{к}$ — фокусное расстояние объектива коллиматора.

Отверстие должно освещаться ярко направленным пучком лучей. Освещение рассеянным светом недопустимо.

Для контроля объектива необходимо выдержать следующие условия: хорошую центрировку и высокое качество объектива коллиматора; совмещение или параллельность осей объектива и коллиматора; возможность перемещения микроскопа в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Увеличение микроскопа должно быть достаточно большим, чтобы иметь возможность детально рассматривать дифракционное изображение точки. Обычно вся установка монтируется на оптической скамье.

Для удовлетворительной центрировки объектива ядро дифракционного изображения должно быть ярким и равномерно освещенным, дифракционные кольца должны иметь правильную форму и быть концентричными; при повороте объектива вокруг своей оси на 180° ядро увеличивается незначительно, а дифракционная картина не изменяется. Количественная оценка величины децентрировки невозможна.

Интерференционный метод Максутова применяется при сборке объективов с малыми воздушными промежутками между линзами для контроля центрировки. Сущность метода выявляется из схемы, представленной на рис. 25, *б*.

Монохроматический источник света *1* направляет лучи света на белый экран *2*, имеющий темный крест и отверстие. Отраженные от экрана лучи направляются в объектив *3* и, отразившись от поверхностей линз, граничащих с воздухом (например, *а* и *б*), интерферируют с разностью хода, обусловленной воздушным промежутком между линзами Δ. При наблюдении в отверстие экрана глаз будет видеть интерференционные кольца (рис. 25, *в*) и несколько изображений креста, полученных при отражении лучей от поверхностей линз объектива. Если расположить глаз так, чтобы его ось совпала с осью объектива и центром отверстия в экране, то все изображения креста сольются в одно (рис. 25, *в*).

О качестве центрировки объектива судят по положению интерференционных колец. При хорошей центрировке кольца концентричны центру O креста. Смещение центра интерференционной картины относительно центра креста определяет децентрировку. Если в линзах имеются натяжения, то интерференционные кольца вытягиваются. Чтобы лучи не попадали непосредственно в объектив от источника света, устанавливают экран *4*.

При центрировке труб с большим числом линзовых компонентов, как, например, у перископов, вертикальные смещения линз могут существенно ухудшить центрировку системы. В этом случае, помимо достаточной точности центрировки линз в оправах, имеет большое значение точность центрировки оправ относительно геометрической оси трубы прибора.

Центрировка оправ выполняется при помощи нивелира, теневым методом * и микроскопом.

Во всех случаях центрировки механическая ось трубы задается проволочными перекрестиями C и C_1, закрепляемыми на обеих торцовых плоскостях трубы *I* прибора (рис. 26, *а*) и центрируемыми относительно внутренней поверхности трубы. Для этой цели весьма удобны специальные вкладыши с перекрестиями, оправы *1* которых точно калиброваны относительно трубы прибора. Применяя для юстировки нивелир, устанавливают его трубу *II* так, чтобы при фокусировке нивелира на оба перекрестия C и C_1 центры C' и C_1' изображений их совмещались с центром K перекрестия нивелира. Далее устанавливают в трубу оправы (например, D и E) линзовых компонентов (рис. 26, *а*), также имеющих перекрестия, и центрируют их относительно центра K сетки нивелира.

---

* Разработан И. В. Лебедевым.

Устранение наклона ε оправ (рис. 26, *б*) достигается автоколлимационной трубкой *III*, устанавливаемой вместо нивелира *II* по зеркалам *2*, закрепленным в оправах *A* и *B* вместо перекрестий *C* и C_1 (рис. 26, *а*); зеркала *2* имеют такую же посадочную фаску под оправу, как и линзы, закрепляемые в дальнейшем в трубе *I*.

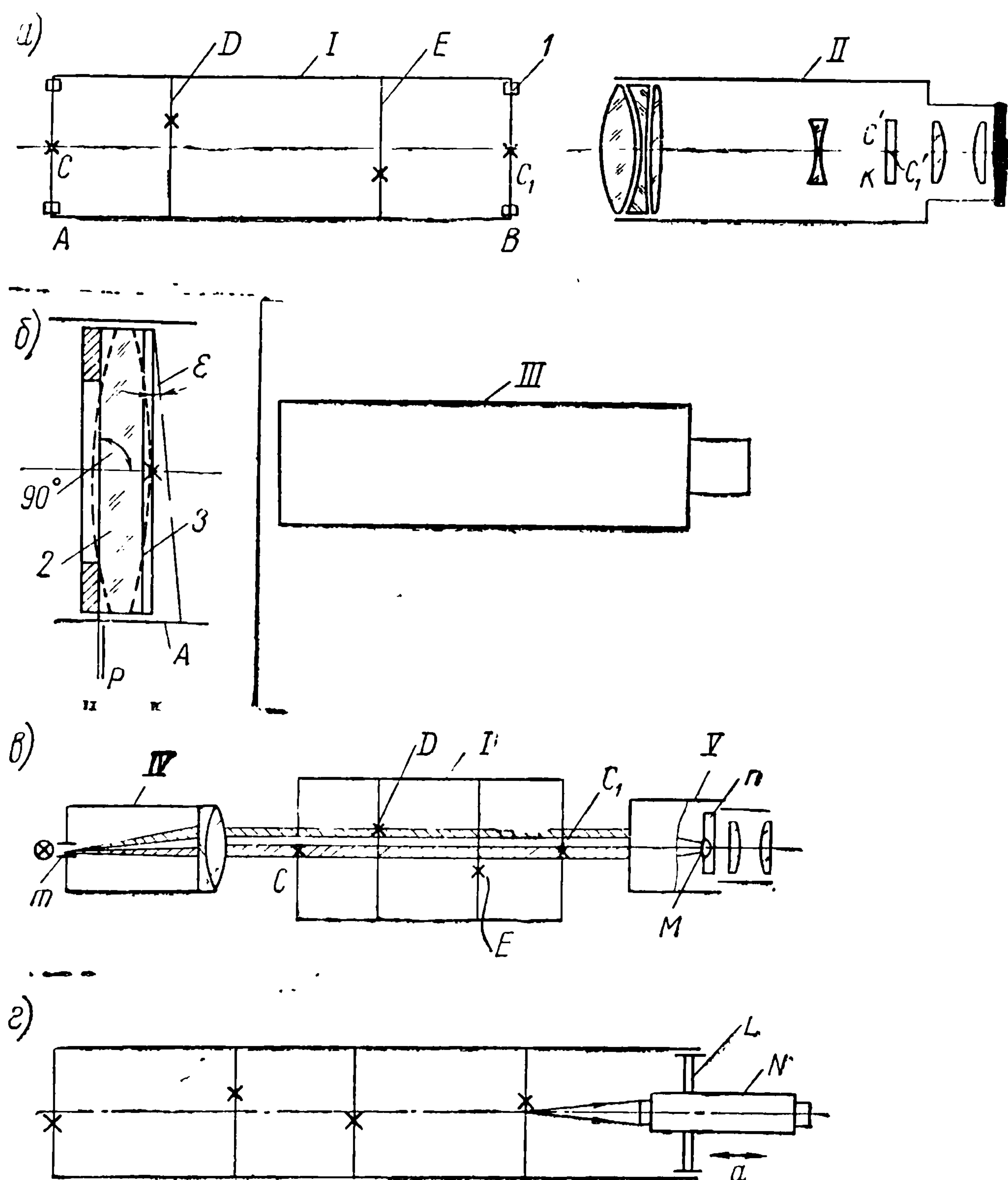


Рис. 26

При помощи автоколлимационной трубки *III* и зеркала *2* подгоняют опорную плоскость *P* оправы под линзу *3* так, чтобы ее ось была параллельна механической оси трубы.

При теневом методе центрировки оправ (рис. 26, *в*) с одной стороны юстируемой трубы *I* устанавливается коллиматор *IV* с точечной диафрагмой *m*, а с другой стороны трубы помещается динаметр *V* (см. § 4) с сеткой *n*, имеющий кружок *M*. При освещении диафрагмы коллиматора источником света лучи, проходящие через трубу *I*, дадут узкие теневые изображения перекрестий *C* и C_1. Взаимными перемещениями динаметра, трубы и коллиматора центрируют теневые изображе-

ния перекрестий с кружком M на сетке n динаметра. Далее устанавливают юстируемые оправы с перекрестием (например, D и E) и центрируют их по кружку M сетки динаметра, не сбивая его установки.

Весьма удобно производить центрировку перекрестий при помощи микроскопа N (рис. 26, *е*), устанавливаемого в трубу так, чтобы его оптическая ось совпадала с геометрической осью трубы (это условие обеспечивается оправкой L). Тогда фокусируют микроскоп (стрелка *а*) на перекрестия оправ и центрируют их до совмещения изображений перекрестий с центром сетки микроскопа.

Центрировка и контроль центрировки зрительных труб и коллиматоров

Центрировка и контроль центрировки зрительных труб выполняются по коллиматору и по искусственной звезде. Для центрировки и контроля центрировки коллиматоров, особенно с большими объективами, удобно пользоваться центрировочной трубкой.

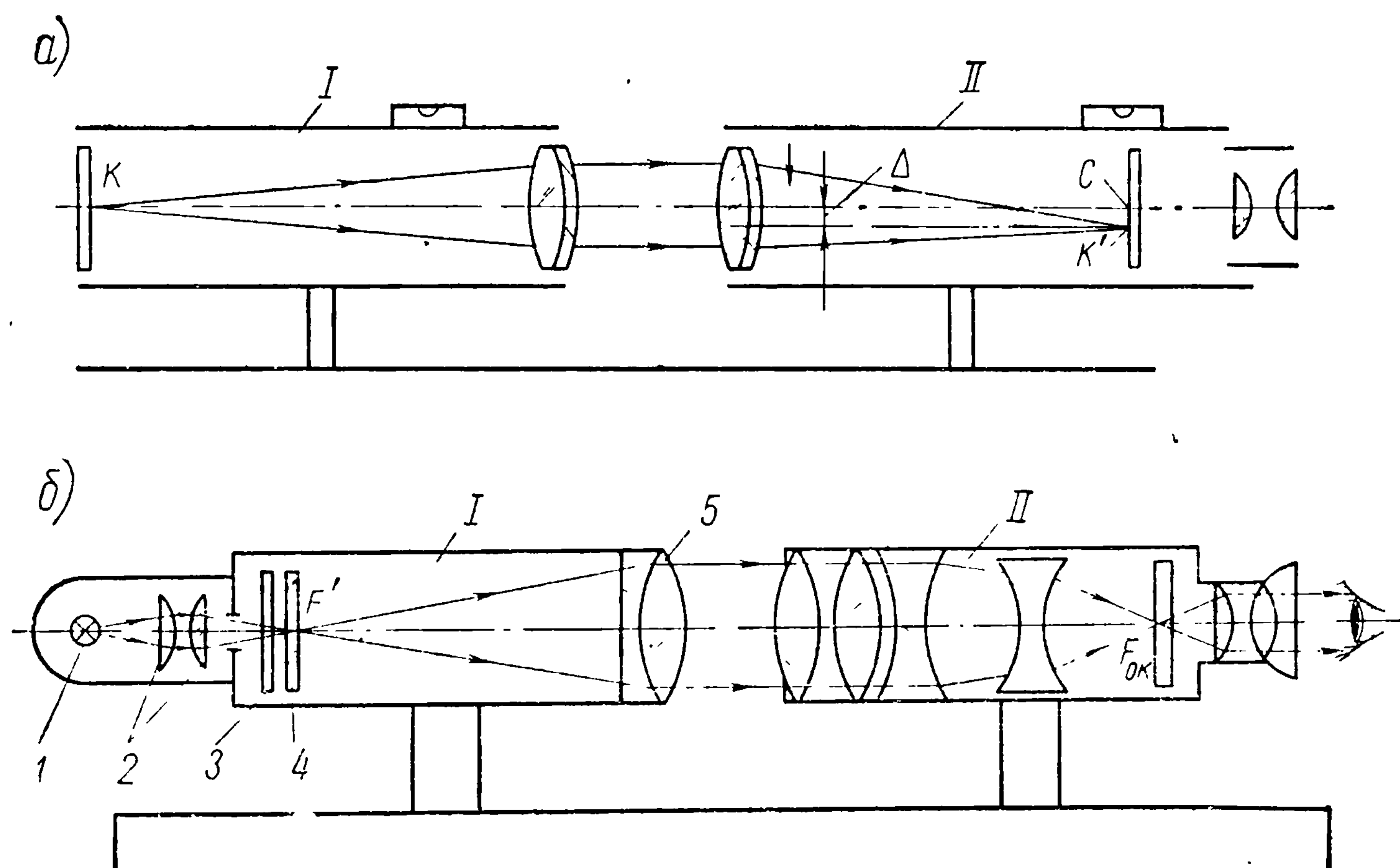


Рис. 27

При центрировке труб по коллиматору (рис. 27, *а*) необходимо, чтобы сам коллиматор был точно центрирован. Оптические оси коллиматора и трубы должны быть параллельны, для чего оба прибора устанавливают либо горизонтально, например при помощи уровней (рис. 27, *а*), либо вертикально.

Из рис. 27, *а* ясно, что если центрировка трубы II нарушена (например, смещением объектива на величину Δ), то изображение K' перекрестия сетки K коллиматора I сместится отно-

сительно перекрестия C трубы на такую же величину, определяющую величину децентрировки.

Центрировка трубы по искусственной звезде выполняется так же, как и для объективов. На рис. 27, *б* дана схема контроля центрировки. В заднем фокусе объектива *5* коллиматора *I* помещена мира *4* с точечным отверстием, освещаемая источником света *1* при помощи конденсора *2*. Перед коллиматором устанавливают испытуемую трубу *II* так, чтобы ось ее

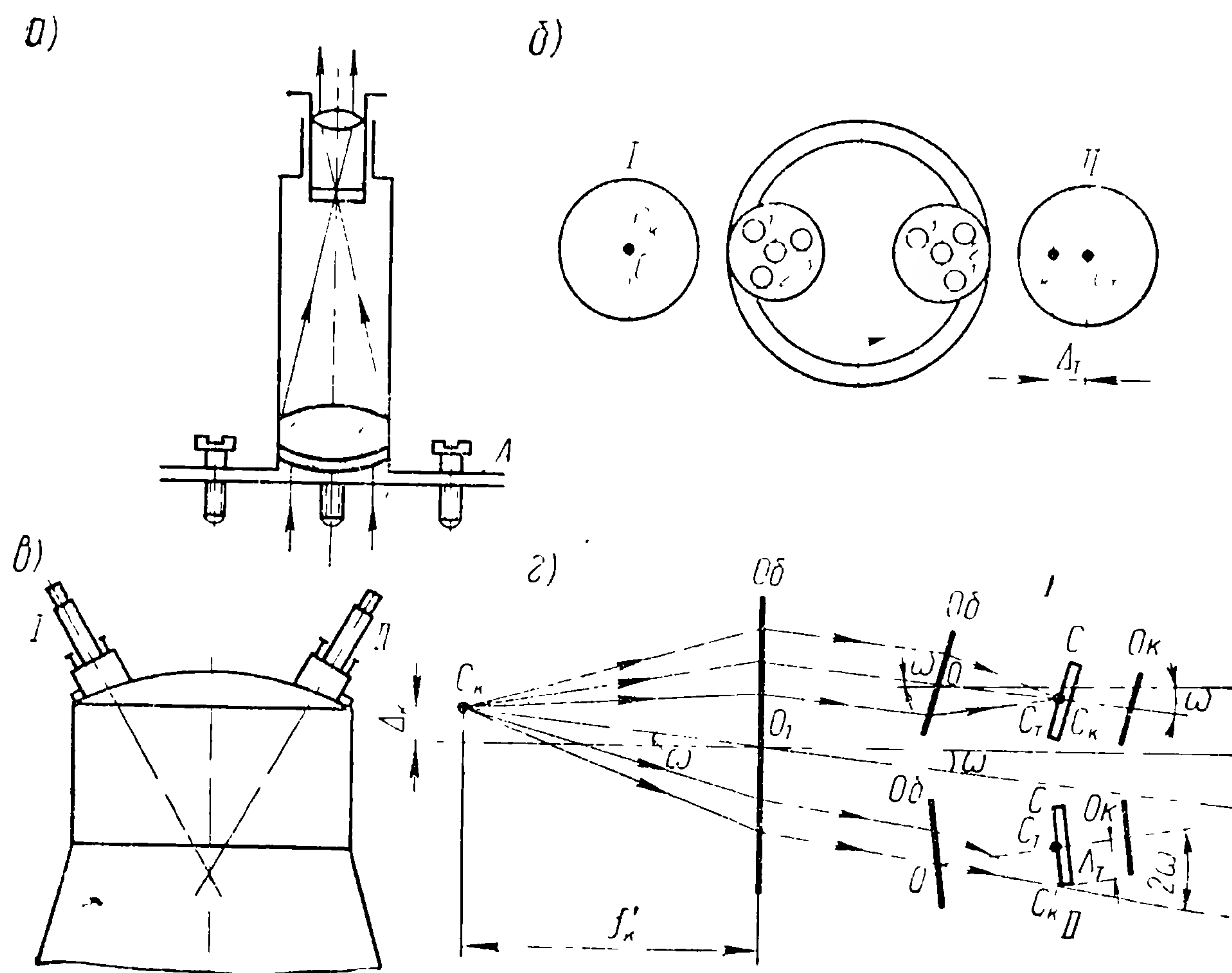


Рис. 28

была параллельна оси коллиматора. Установив окуляр трубы по глазу, рассматривают изображение миры и дифракционное изображение точечного отверстия в фокальной плоскости $F_{ок}$ окуляра.

Контроль центрировки и центрировка коллиматора при помощи центрировочной трубки выполняются следующим образом.

Центрировочная трубка (рис. 28, *а*) представляет собой телескопическую систему, имеющую фланец *А* с тремя винтами. Сущность контроля центрировки коллиматора при помощи центрировочной трубки уясняется из рис. 28, *б*, *в*, *г*. Устанавливают трубку (рис. 28, *б* и *в*) на объективе коллиматора в положение *I* так, чтобы два винта *1* и *2* фланца трубки плотно касались края оправы объектива коллиматора. Работая винтами, наклоняют трубку так, чтобы ее ось $OC_т$ была параллельна оси $C_кO_1$ коллиматора (рис. 28, *г*). При этом изображение $C_к'$ креста $C_к$ коллиматора совпадает с перекрестием $C_т$ сетки трубки (рис. 28, *б*).

Передвинем теперь трубку по объективу коллиматора в положение *II* (рис. 28, *б*, *в*, *г*), диаметральное первому, не отрывая винтов от оправы объектива. При наличии децентрировки $\Delta_к$ сетки коллиматора лучи, выходящие из его объектива под углом ω и попадающие в трубку, соберутся в точку $C'_к$, смещенную относительно центра сетки трубки на величину $\Delta_т$ (рис. 28, *г*).

Из рисунка видны следующие зависимости:

$$\Delta_к = f'_к \operatorname{tg} \omega; \tag{78}$$

$$\Delta_т = f'_т \operatorname{tg} 2\omega, \tag{79}$$

откуда

$$\Delta_к = \Delta_т \frac{f'_к}{2f'_т}. \tag{80}$$

Исправление децентрировки коллиматора выполняется методом половинных поправок. Половина децентрировки устраняется при помощи наклона трубки винтами, другая половина — смещением самой сетки коллиматора. Добившись, таким образом, чтобы $\Delta_т$ стало равно нулю, снова устанавливают трубку в первое положение и повторяют исправление децентрировки вышеуказанным образом, поступая так до тех пор, пока в любом положении трубки смещение перекрестий $C_т$ и $C'_к$ не будет наблюдаться.

Пример. Определить величину децентрировки $\Delta_к$ сетки коллиматора при $f'_к = 1000$ *мм*, $f'_т = 100$ *мм*, $Г_т = 4\times$ и кажущемся смещении $\Delta'_т$ перекрестий в поле зрения трубки в 1 *мм*.

Фактическая величина смещения перекрестий

$$\Delta_т = \frac{\Delta'_т}{Г_{ок}},$$

где

$$Г_{ок} = \frac{250}{f'_{ок}} \text{ и } f'_{ок} = \frac{f'_{об}}{Г} = \frac{100}{4} = 25 \text{ мм};$$

тогда

$$Г_{ок} = \frac{250}{25} = 10\times \text{ и } \Delta_т = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ мм}.$$

Теперь $\Delta_к$ определится по формуле (80):

$$\Delta_к = 0,1 \cdot \frac{1000}{2 \cdot 100} = 0,5 \text{ мм}.$$

§ 11. Увод визирной оси прибора

Основные соотношения

В ряде приборов визирная ось для изменения углов визирования отклоняется на различные угловые величины. Этот наклон осуществляется зеркалами или призмами, получившими название визирных. В большинстве приборов, например перископах и прицелах, изменение угла i визирования производится

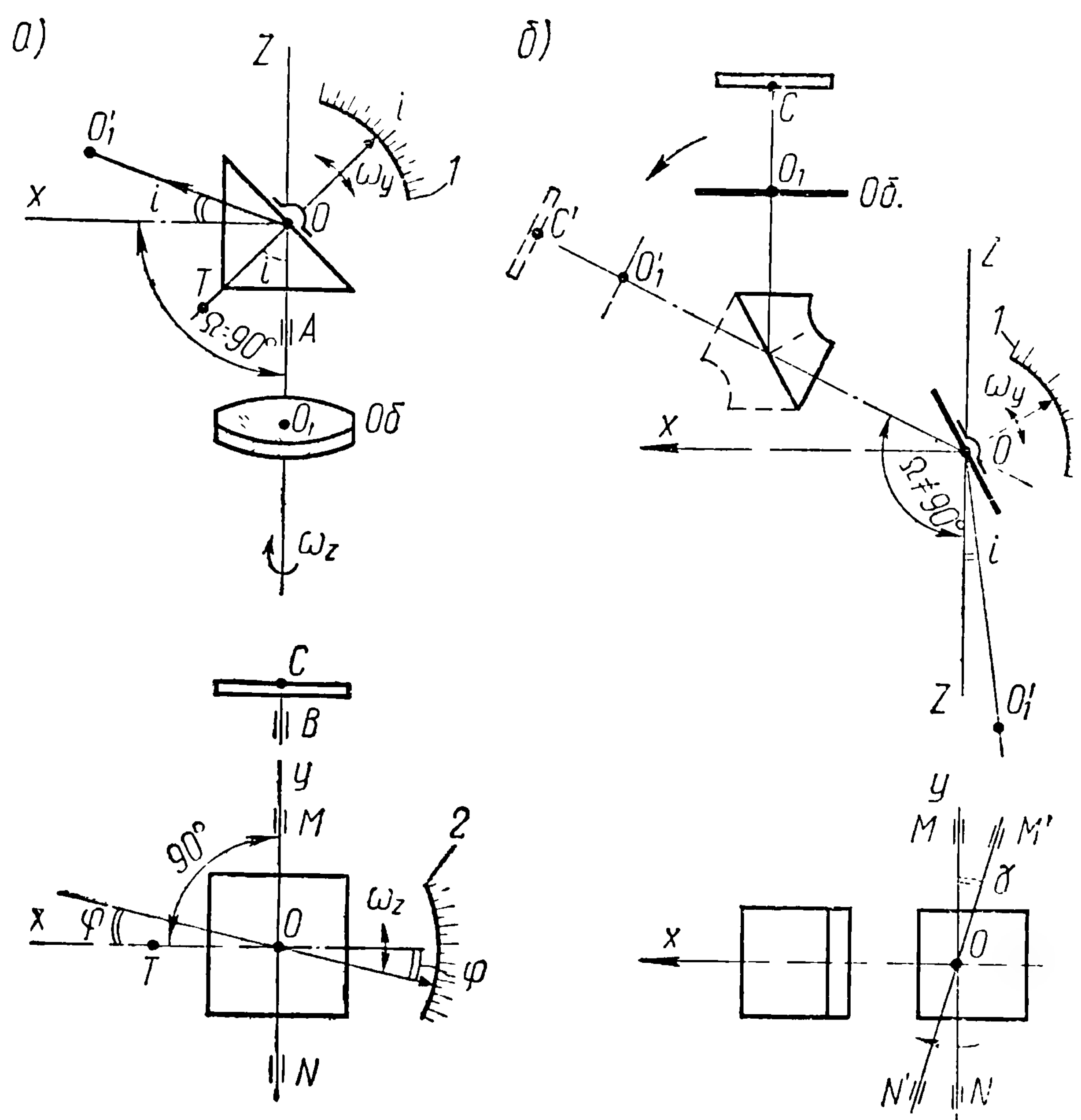


Рис. 29

в вертикальной плоскости от горизонта — ось X и вертикали — ось Z (рис. 29, *а* и *б*). В стереотрубах, панорамах, буссолях и теодолитах визирные углы изменяются и в горизонтальной плоскости на величину φ относительно оси X (нижняя часть рис. 29, *а* и рис. 30).

Вертикальные и горизонтальные углы отклонения визирной оси отсчитываются по соответствующим лимбам *1* и *2* (рис. 29, *а* и рис. 30). Для соответствия этих углов истинным углам на местности необходимо, чтобы визирный луч при наводке на цель перемещался в пространстве объектов в плоскостях, проходящих через меридианы и параллели (рис. 30), в частности по экватору (плоскость XY) и начальному меридиану (плоскость

XZ). Практически вследствие неточности в изготовлении деталей и ошибок сборки прибора визирный луч выходит из указанных плоскостей. Так, например, при наводке на точку D горизонта (рис. 30) при $i=0$ и $\varphi=0$ визирный луч может прийти в

Рис. 30

точку D', а при наводке на точку K — в точку K'. Величины отклонений KK' и DD' истинных точек визирования K' и D' от точек наводки K и D, взятых по дугам большого круга в сферической системе координат, называются **уводом** (нерезанием) визирной оси от меридианной (вертикальной) плоскости. Аналогичным образом может возникнуть и увод оси от горизонтальной плоскости, например для точек D и D'', E и E' и G и G'.

Величина увода от меридианной плоскости определяется отрезками дуги большого круга, проходящего через точку визирования, например K'. Один из них, отрезок δ_i, характеризует увод оси от меридиана, проходящего через точку D' (увода оси на экваторе); другой отрезок a_i определяет увод до начального меридиана; для экватора (точка D') будем иметь отрезок a_0.

При уводе от меридианной плоскости при визировании в точку D экватора ($i=0$) появляется ошибка горизонтальных углов $\Delta\varphi_0$. В общем виде при визировании в точку K увод от меридианной плоскости дает две ошибки: в горизонтальном угле $\Delta\varphi$ и в вертикальном Δi.

Ошибка Δi вертикального угла представляет собой разность углов $i'-i$, где i — истинное значение угла визирования, взятое от экватора по меридиану, проходящему через фактическую точку наводки K', а i' — угол, отсчитанный по лимбу и взятый по дуге начального меридиана. Отрезок $K'K$ является частью широтного круга.

Ошибка горизонтального угла $\Delta\varphi_i$ берется как разность углов φ_0 и φ_n и в данном случае (при $\varphi_n > \varphi_0$) должна быть меньше нуля (положительный отсчет горизонтальных углов берется по часовой стрелке).

Величина увода от горизонта η берется по меридиану, проходящему через фактическую точку визирования, например E' или G'. Она может быть взята или от экватора, или как разность ошибок углов Δ_i, которые возникают при уводе. В этом случае (рис. 30) будем иметь $\eta = \Delta i_E - \Delta i_G$.

Подобно тому как при уводе от меридиана возникают ошибки Δi и $\Delta\varphi$, так при уводе от горизонта, помимо ошибки Δi, возникает и ошибка отсчета $\Delta\varphi$ угла φ, взятого по лимбу, вместо фактического угла φ'.

Из рис. 30 по формуле сферической тригонометрии имеем

$$\cos\varphi' = \cos\eta\cos\varphi, \qquad (81)$$

где

$$\varphi' = \varphi + \Delta\varphi.$$

Г. В. Погаревым показано, что

$$\Delta\varphi \approx \frac{\eta^2}{2}\operatorname{ctg}\varphi. \qquad (82)$$

В практических случаях углы φ достаточно большие, а η невелико, следовательно, в нашем случае $\Delta\varphi$ — величина малая и может не учитываться.

Чтобы уводы визирной оси не возникали, необходимо соблюдение следующих условий:

1. Ось MN вращения визирного зеркала (призмы) должна быть горизонтальна (совпадать с осью Y).

2. Визирная ось O_1C прибора должна быть вертикальна (совпадать с осью Z) и совпадать с осью AB вращения прибора.

3. Нормаль OT к зеркалу должна быть нормальна к оси MN вращения зеркала (плоскость Q на рис. 30).

4. Для приборов, представленных на рис. 29, *б*, у которых углы i отсчитываются от вертикали (ось Z), а визирная ось $O_1'C'$ составляет с вертикалью угол $\Omega \neq 90°$, недопустим поворот

оси MN вращения призмы в горизонтальной плоскости относительно оси Y (положение $M'N'$ на рис. 29, *б*). В этом же случае визирная ось O'_1C' прибора должна находиться в вертикальной плоскости XOZ.

При сборке и юстировке представляют интерес: 1) значения уводов a_i, δ_i и η; 2) ошибки измеряемых углов Δi и $\Delta\varphi$ при отсчете по лимбам; 3) вид траектории визирного луча при вращении зеркала в зависимости от значений различных деюстировок прибора.

Все эти вопросы получили освещение в работах И. В. Лебедева, Г. В. Скворцова и наиболее глубоко в работах Г. В. Погарева. Некоторые наиболее важные вопросы, данные по Г. В. Погареву [7 и 8], без вывода по формулам сферической тригонометрии приводятся ниже. При этом предполагается, что имеется только одна какая-либо деюстировка, влияние которой и рассматривается.

Из рис. 30 можно получить важные зависимости:

$$\Delta\varphi_i = -\frac{\delta_i}{\cos i},^{*} \tag{83}$$

$$\delta_i = a_i - a_0 \cos i; \tag{84}$$

$$\Delta\varphi_i = a_0 - \frac{a_i}{\cos i}. \tag{85}$$

На рис. 30 угол i отсчитывается от плоскости горизонта, относительно которой визирная ось прибора составляет угол $\Omega = -90°$ (рис. 29, *а*). Однако приведенные далее формулы справедливы в большинстве случаев и для значений $\Omega \neq 90°$.

Положение визирной оси OK' после отражения ее (в обратном ходе лучей) от зеркала определяется по закону отражения. Это значит, что отрезки O_1O, OK' и OT (нормаль к зеркалу) находятся в одной плоскости, а дуга PT равна дуге TK'.

Траектория следа визирной оси на сфере (например, $K'D'$) при визировании показана в последующих рисунках жирной линией.

Ошибки, вносимые визирным зеркалом перископа при изменении визирного угла

А. Нормаль OT к отражающей грани зеркала не перпендикулярна оси MN вращения зеркала.

В этом случае (рис. 31) зеркало пересекает плоскость экватора XOY под углом ρ к оси Y (дуга K). Соответственно нор-

* Формула (83) применима для углов i, не очень близких к 90° ($\approx$84°), и уводов небольшой величины; при углах, близких к зениту, формула дает значение $\Delta\varphi_i = -90°$, т. е. в этом случае измерения угла φ невозможны.

маль OT к зеркалу образует угол ρ с плоскостью XOZ (дуга K). Такая ошибка называется коллимационной и возникает при сборке призмы с осью MN. При вращении зеркала относительно оси MN траектория точки T нормали на сфере будет

Рис. 31

описывать малый круг (штриховая линия), расположенный на расстоянии K от начального меридиана.

Если визирная ось O_1C совпадает с осью Z (вертикальна), то точка K' (след визирной оси OK' на сфере) будет находиться в плоскости R, проведенной через точки P, T и O, на меридиане $PTK'P'$ и на расстоянии $K'T$, равном дуге TP. Дуга $K'K''$ определит, как было указано выше, значение фактического угла i.

Траектория точки K' на сфере может быть определена по формуле для отклонения

$$a_{ik} = \sqrt{2}\cdot K\left(\cos\frac{i}{2} - \sin\frac{i}{2}\right)^{*}; \tag{86}$$

значение увода

$$\delta_{ik} = \sqrt{2}\cdot K\left(\cos\frac{i}{2} - \sin\frac{i}{2} - \cos^2 i\right) \tag{87}$$

и ошибка угла

$$\Delta i_k = \frac{a_{ik}^2}{2}\,\mathrm{tg}\, i \tag{88}$$

* Предполагается, что значение K мало.

являются величинами второго порядка малости и могут не учитываться при измерении углов i, не близких к зениту.

Ошибка $\Delta\varphi_{ik}$ определяется по формуле (83) после вычисления δ_{ik} по формуле (87). Из формулы (86) видно также, что при визировании в зенит, т. е. при угле $i=90°$, $a_{ik}=0$. При коллимационной ошибке знак увода δ_{ik} не зависит от знака угла i (рис. 31, *I*, *II*, *III*). Такой увод называют «кривой».

Из рис. 31 также ясно, что при повороте зеркала с осью MN вокруг оси Z точка K' будет описывать траектории в виде малого круга G, находящегося в горизонтальной плоскости, и, следовательно, увод η оси от горизонта не возникает.

Б. Ось MN вращения визирного зеркала наклонна к горизонтальной оси Y.

На рис. 32 показан этот наклон оси на угол γ в плоскости YOZ (дуга l). Однако при наклоне оси в любой плоскости нижеприведенные зависимости не изменяются, так как эту плоскость всегда можно совместить с плокостью YOZ путем поворота системы вокруг оси Z. Рассуждая, как и в предыдущем случае, можно установить, что траектория точки T нормали представляет собой дугу большого круга, наклоненного в данном случае к начальному меридиану под углом γ (дуга l).

Точка K' описывает дугу малого круга с центром A, лежащим на оси MN вращения зеркала. Плоскость этого круга параллельна плоскости траектории точки T и смещена относительно нее на величину l.

При малых значениях γ

$$a_{il} = l(1 - \sin i); \tag{89}$$

$$\delta_{il} = l(1 - \sin i - \cos i); \tag{90}$$

$$\Delta i_l = \frac{a_{il}^2}{2} \operatorname{tg} i. \tag{91}$$

Ошибка всегда остается величиной второго порядка малости и может не учитываться. $\Delta\varphi_{il}$ определяется по формуле (83) после вычисления δ_{il}. Из формулы (89) видно также, что при визировании в зенит (при угле $i=90°$, $a_{il}=0$), т. е. при наклоне оси призмы, как и при ее коллимационной ошибке, увода оси в этом случае нет. Наклон l оси дает увод δ_{il}, который меняет знак в зависимости от знака угла i (рис. 32, *I*, *II*, *III*). При равных по величине вертикальных углах i увод δ_{il} одинаков и называется «косым».

Из рис. 32 ясно, что, как и при коллимационной ошибке, при вращении зеркала с осью MN траектория точки K' будет находиться в горизонтальной плоскости и увод η оси от горизонта не появляется.

В. Наклон визирной оси O_1C к вертикали (ось Z). Эта юстировка возникает при наклоне прибора (рис. 33, *а*), а также и при смещении объектива или сетки перпендикулярно вертикальной оси прибора на величину δ (рис. 33, *б*). При наклоне q_{XOZ} (рис. 33, *а*) визирной оси в вертикальной плоскости XOZ отраженный от зеркала луч OO_1' будет, очевидно, находиться всегда в плоскости начального меридиана XOZ и увод оси $a_{iq}=0$. При этом, конечно, возникает постоянная ошибка

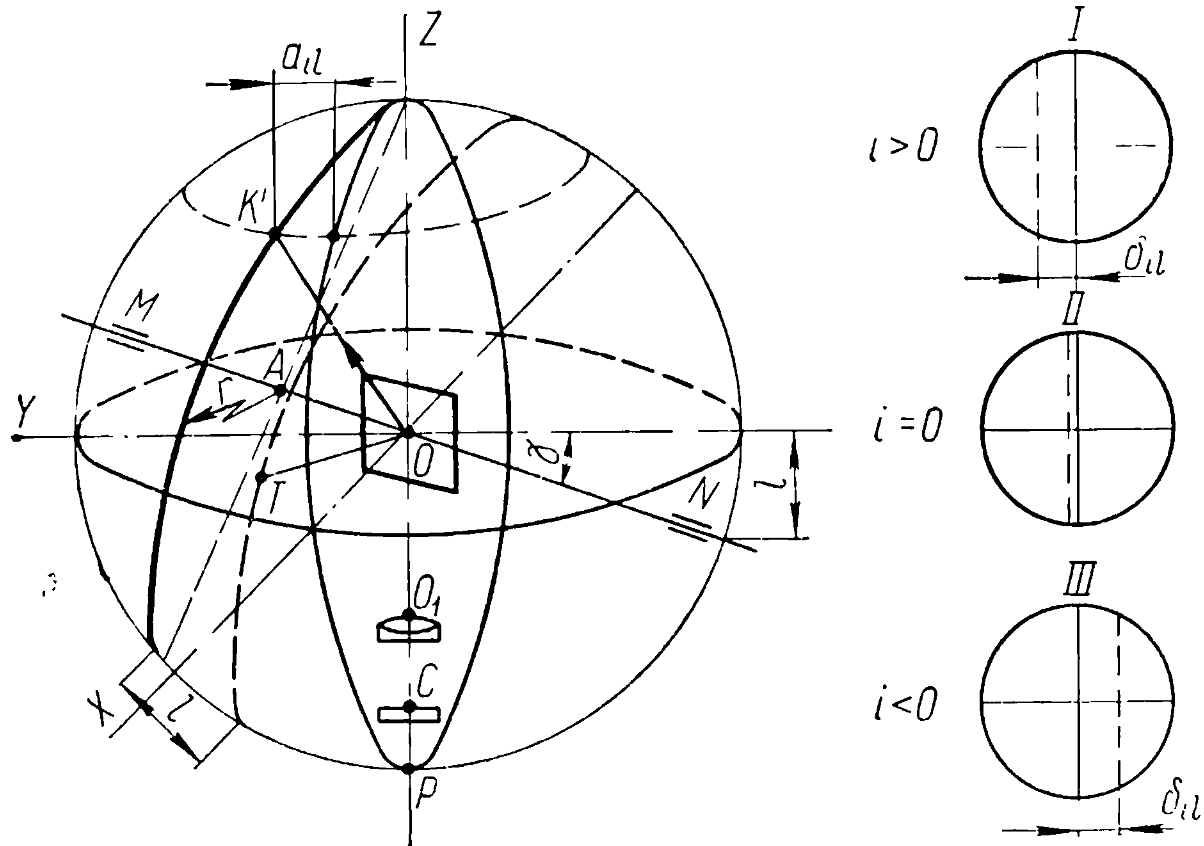


Рис. 32

угла i, равная углу q наклона оси. Однако она легко устраняется установкой нуля шкалы углов i при юстировке.

Максимальный увод визирной оси будет наблюдаться при наклоне q_{YOZ} (рис. 33, *а*) в плоскости, нормальной плоскости начального меридиана. Поскольку коллимационная ошибка отсутствует, то нормаль OT к зеркалу будет перпендикулярна оси его вращения и, следовательно, точка T при вращении зеркала будет описывать дугу большого круга в плоскости начального меридиана. Тогда по аналогии с рис. 32 точка K' визирной оси будет описывать малый круг радиусом r в плоскости, параллельной начальному меридиану, на постоянном расстоянии

$$a_{iq} = q_{YOZ} = \text{const}, \qquad (92)$$

причем

$$\delta_{iq} = (1 - \cos i). \qquad (93)$$

При наклоне q_s оси в произвольной плоскости S (рис. 33, *в*), ориентированной относительно плоскости начального меридиана

углом φ, увод визирной оси будет вызываться составляющей (рис. 33, *в*):

$$q_{YOZ} = q_s \sin\varphi; \tag{94}$$

составляющая же $q_{XOZ}=q_s\cos\varphi$, как было указано выше, дает только постоянную ошибку углов Δi. Теперь формула (90) будет иметь вид

$$\delta_{iq_{YOZ}} = q_{YOZ}(1-\cos i) = q_s(1-\cos i)\sin\varphi. \tag{95}$$

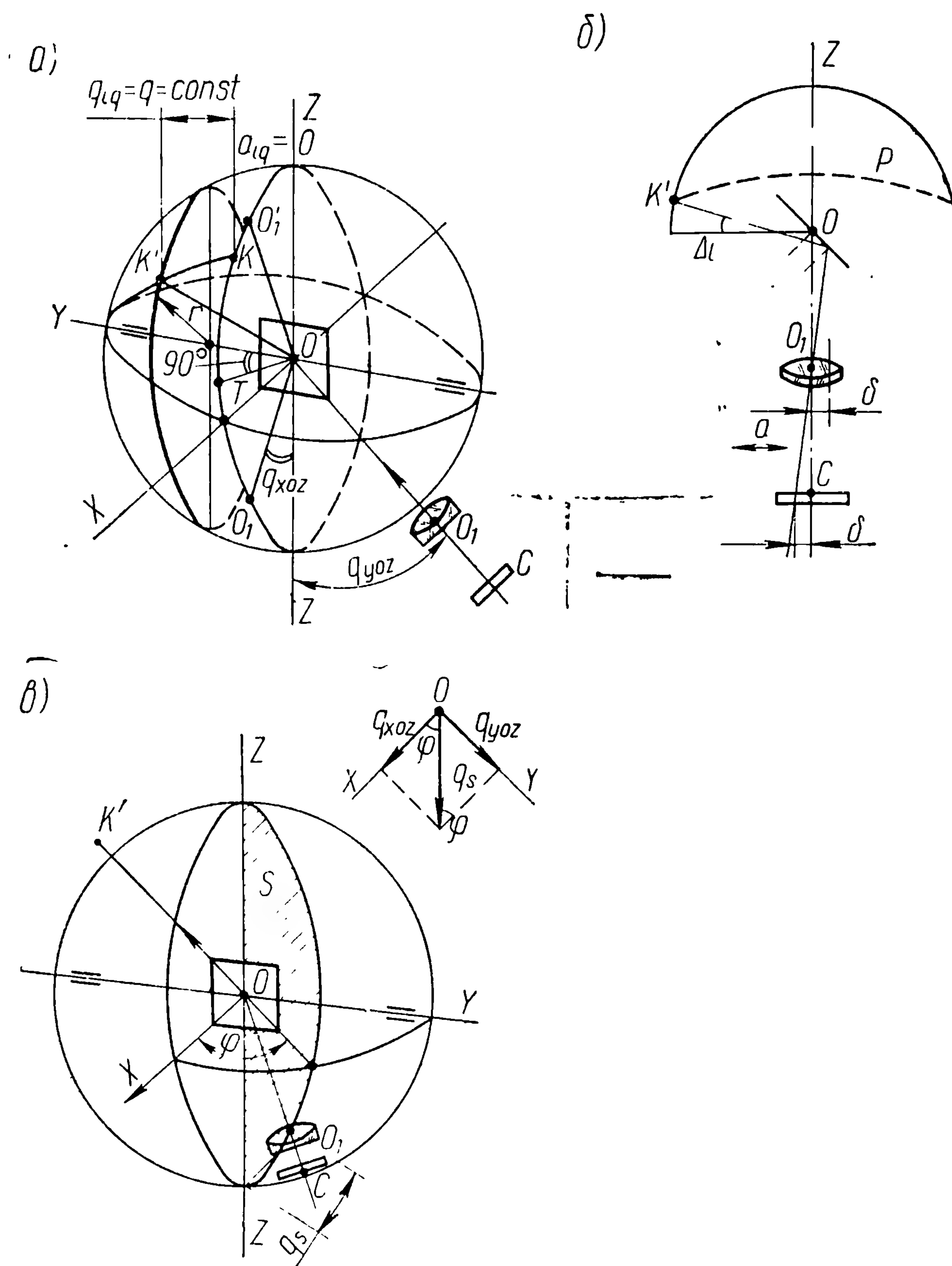


Рис. 33

Ошибка вертикальных углов

$$\Delta i_q = \frac{q^2 \operatorname{tg} i}{2} \tag{96}$$

и может не учитываться для точек, не очень близких к зениту; $\Delta\varphi_{iq}$ определяется по формуле (83).

Как и в предыдущих случаях, при вращении прибора вокруг оси Z точка K' будет описывать широтный круг P (рис. 33, *б*), и увод от горизонта не возникает.

Г. Наклон вертикальной оси вращения прибора.

Пусть труба прибора с осью вращения AB (рис. 34) наклонена к оси Z на угол m в плоскости XOZ, причем визирная ось O_1C совпадает с осью вращения прибора. Такая деюстировка, очевидно, аналогична деюстировке, показанной на рис. 33, *а*; увода оси не будет. Однако при повороте трубы вокруг своей оси по стрелке ω на угол m ось MN вращения зеркала повернется на тот же угол в плоскости большого круга, что при визировании в произвольную точку K' вызовет увод от вертикали и ошибку Δ_{im}. Кроме того, возникнет увод η и от горизонта, так как траектория U точки K' в этом случае не будет находиться в горизонтальной плоскости, как это было в предыдущих деюстировках

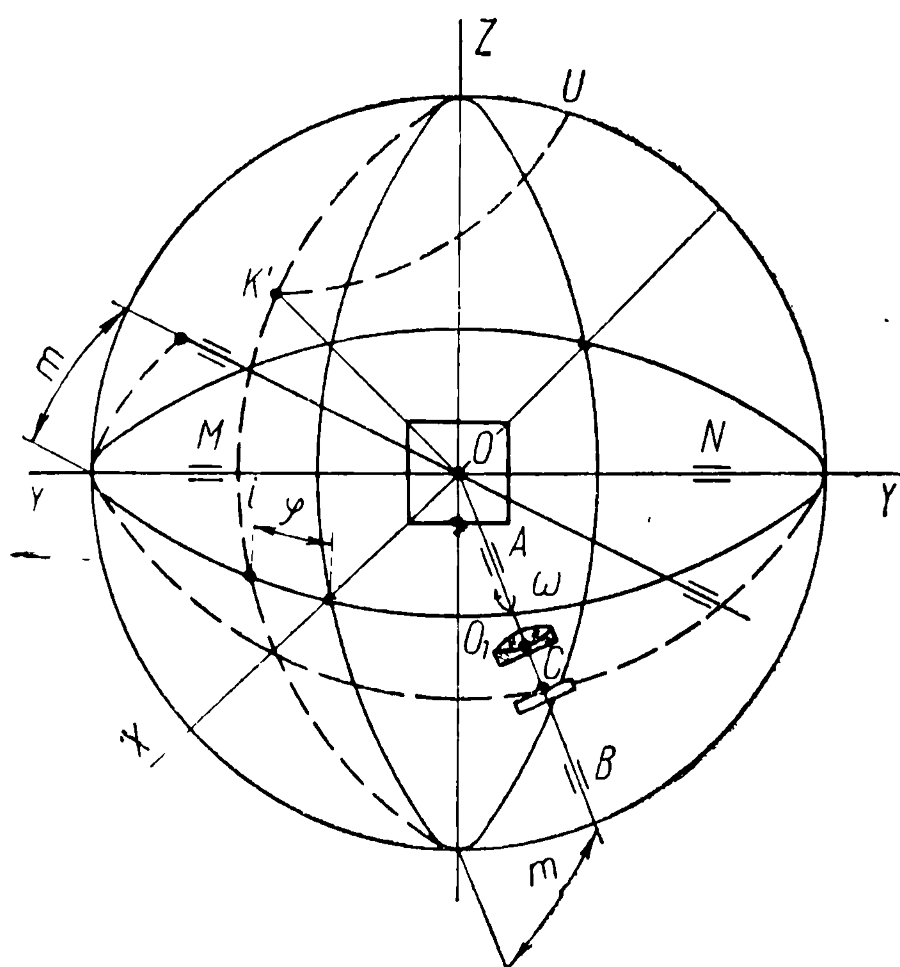


Рис. 34

(см. рис. 31 и 32). Очевидно, что такое же явление будет возникать и при наклоне оси прибора в произвольной плоскости S (см. рис. 33, *в*). Для этого случая будем иметь следующие соотношения:

увод оси от вертикали

$$\delta_{mi} = m \sin i \sin(\varphi - \varphi_{m0}); \qquad (97)$$

увод оси от горизонта

$$\eta_{my} = m\,[\cos(\varphi_1 - \varphi_{m0}) - \cos(\varphi_2 - \varphi_{m0})]. \qquad (98)$$

Ошибки вертикального и горизонтального углов:

$$\Delta_{im} = m \cos(\varphi - \varphi_{m0}); \qquad (99)$$

$$\Delta\varphi_m = m \operatorname{tg} i \sin(\varphi - \varphi_{m0}). \qquad (100)$$

В приведенных формулах угол φ_{m0} определяет положение плоскости S, в которой произошла деюстировка, а углы φ_1 и φ_2 — текущие углы поворота прибора по стрелке ω. Как видно из формул (99) и (100), ошибки в углах имеют значение первого порядка и могут быть ощутимы.

Уводы визирной оси в панораме

В панорамических приборах, помимо головной визирной призмы, имеется призма Дове, вращающаяся, как и головная, вокруг вертикальной оси Z для выравнивания изображения и называемая поэтому компенсационной. Поэтому к рассмотренным выше ошибкам визирного зеркала в панораме добавляются ошибки, вносимые деюстировками призмы Дове, а также неточности ее изготовления.

Как видно из схемы оптики (см. рис. 12, *а*), призма Дове установлена перед объективом в параллельном ходе лучей. Поэтому на точность отсчетов углов визирования оказывают влияние только угловые перемещения призмы Дове и ошибки в ее углах:

а) наклон (угол β) оси вращения AB призмы Дове к вертикальной оси Z вращения головной призмы (рис. 35, *а*);

б) непараллельность (угол α) отражающей грани DE призмы Дове оси ее вращения AB (рис. 35, *б*);

в) наклон (угол γ) оси O_1C визира относительно оси AB вращения призмы Дове (рис. 35, *в*);

г) разность значений углов 45° призмы Дове (рис. 35, *г*);

д) пирамидальность π призмы Дове.

Эти зависимости подробно освещены в работах Г. В. Погарева [7, 8] и Г. Е. Скворцова [11] и кратко изложены ниже.

А. Наклон оси вращения AB призмы Дове к вертикальной оси Z вращения головной призмы (угол β). Пусть на рис. 35, *а* ось AB вращения призмы Дове совпадает с осью визира O_1C панорамы* и наклонена вместе с нею к оси Z (совпадающей с осью вращения головной призмы) в плоскости чертежа XOZ на угол β (дуга s).

При неподвижной головной призме данная деюстировка представляет для нее рассмотренную выше ошибку наклона визирной оси q_{XOZ} (см. рис. 33, *а*), которая в данном случае обозначена через s.

При повороте головной призмы на угол φ получаем случай, представленный на рис. 33, *в*, где вектор $\bar{q}_s$ дает две переменные составляющие:

боковую

$$S_{YOZ} = q_s \sin\varphi \tag{101}$$

и продольную

$$S_{XOZ} = q_s \cos\varphi. \tag{102}$$

Продольная составляющая будет давать увод η оси от горизонта, который при наклоне s в произвольно ориентированной плоскости будет определяться по формуле

$$\eta_s = s\,[\cos(\varphi_2 - \varphi_s) - \cos(\varphi_1 - \varphi_s)], \tag{103}$$

---

* Для упрощения окулярная часть панорамы развернута, как и крышеобразная призма, представленная в виде приведенной к воздуху пластинки *И*.

где φ_1 и φ_2 — текущие углы поворота головной призмы.

Как и в перископе, будем иметь увод от меридиана

$$\delta_s = s(1 - \cos i)\sin\varphi; \tag{104}$$

ошибку угла i, определяемую по формуле (88), и ошибку азимутального угла

$$\Delta\varphi_s = s\sin(\varphi - \varphi_s). \tag{105}$$

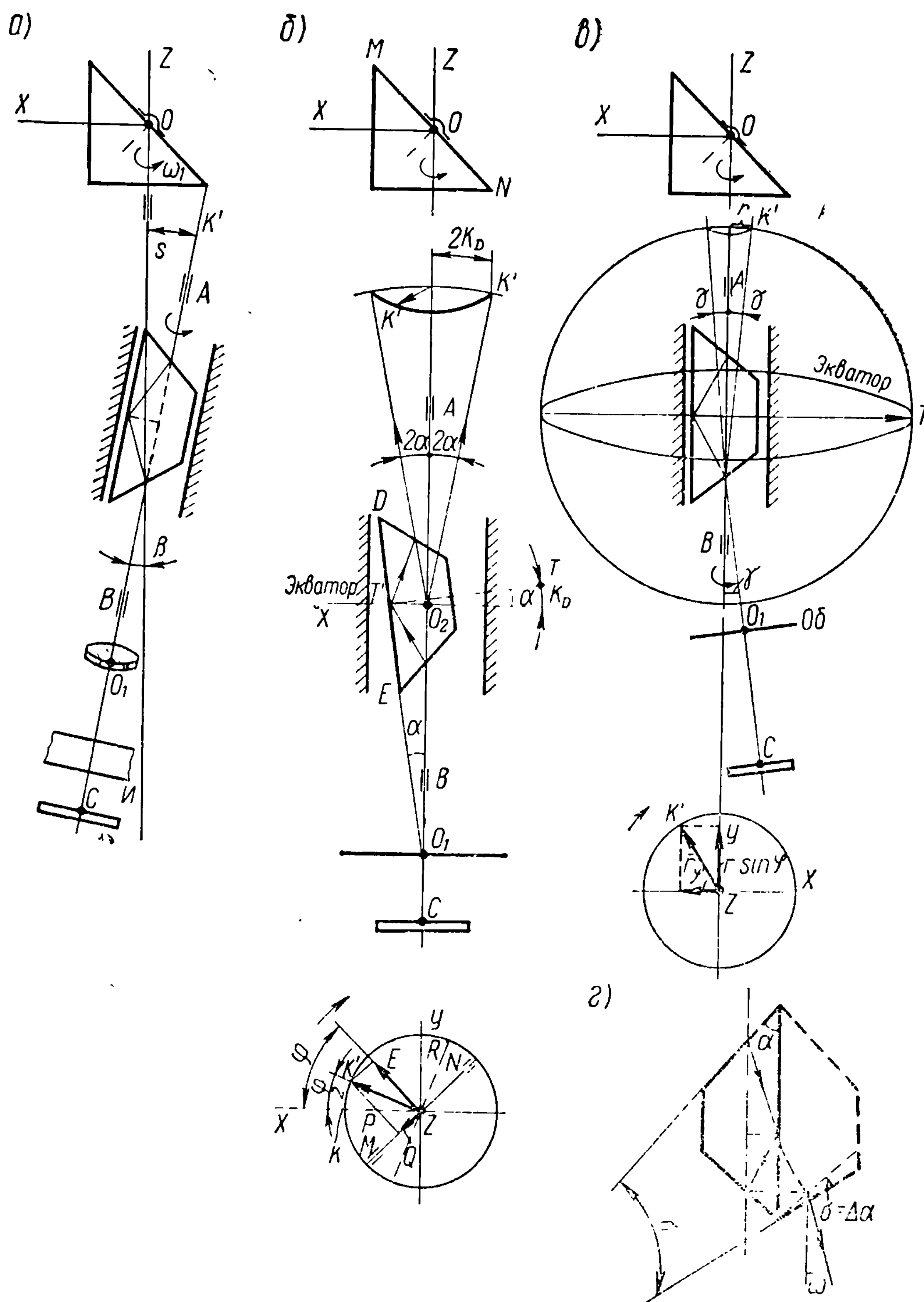


Рис. 35

Вертикальность оси вращения призмы Дове осуществляется установкой нижнего корпуса *34* панорамы на горизонтированную корзину при помощи специально расточенной базы и правильно выбранными технологическими допусками на механиче-

ские детали, соединяющие оправу призмы Дове с нижним корпусом (рис. 101).

Б. Непараллельность отражающей грани DE призмы Дове оси ее вращения (угол α). Из рис. 35, *б* видно, что при наклоне гипотенузы DE призмы на угол α к оси AB ее вращения визирный луч будет описывать конус с вершиной в точке O_2 и углом 2α. При этом, очевидно, нормаль к отражающей грани призмы повернется на угол α по отношению к экватору в сферической системе координат и отсечет дугу K_D в плоскости большого круга.

Сравнивая рис. 35, *б* с рис. 31, видим, что данная деюстировка призмы Дове является коллимационной. Поскольку визирный луч отклонится в сферической системе координат на угол $2K_D$, то ясно, что геометрическое место точки K' визирного луча образует на сфере малый круг с радиусом $2K_D$ относительно оси Z. Известно, что для выравнивания изображения в панораме при вращении головной призмы на угол φ призма Дове поворачивается на угол $\frac{\varphi}{2}$. Положение грани головной призмы MH при ее повороте на угол φ от начального меридиана XZ и положение отражающей грани RQ призмы Дове показаны на нижней части рис. 35, *б*. Вектор $\overline{ZK'}$ показывает отклонение следа K' визирной оси на сфере от оси Z. Он отстает от нормали K отражающей грани головного зеркала на угол $\varphi/2$.

Очевидно, при вращении головной призмы визирный луч будет падать на нее под разными углами наклона q (см. рис. 33). Разложив вектор $\overline{ZK'}$ по направлению нормали ZE к головной призме и по нормали к ней, получим две переменные составляющие EZ и ZP. Боковая составляющая

$$ZP = 2K_D \sin\frac{\varphi}{2} \tag{106}$$

дает увод от вертикали

$$\delta_K = 2K_D(1-\cos i)\sin\frac{\varphi}{2}. \tag{107}$$

Продольная составляющая

$$EZ = 2K_D \cos\frac{\varphi}{2}; \tag{108}$$

как и выше, увод от горизонта

$$\eta_K = 2K_D\left(\cos\frac{\varphi_2}{2} - \cos\frac{\varphi_1}{2}\right), \tag{109}$$

где углы φ_2 и φ_1 — текущие углы поворота визирной призмы.

Ошибка азимутального угла для точек на горизонте

$$\Delta\varphi_K = 2K_D \sin \frac{\varphi}{2}. \qquad (110)$$

Ошибка вертикального угла может быть вычислена по формуле (96), в которой угол q (дуга q_s на рис. 33) должен быть заменен углом K (дугой K_D на рис. 35, *б*).

Важно отметить, что формулы (109) и (110) для η_K и $\Delta\varphi_K$ несинхронны с формулами (103) и (105) для случая наклона оси призмы Дове (рис. 35, *а*), поскольку в одном случае обе призмы синхронно вращаются, а в другом случае призма Дове неподвижна. Вследствие этого данные ошибки не могут быть взаимно скомпенсированы. Коллимационная ошибка устраняется путем разворота призмы в оправе на специальном юстировочном приборе (см. § 37, рис. 98).

В. Наклон оси O_1C визира к оси AB вращения призмы Дове.

В этом случае (рис. 35, *в*) нормаль T к отражающей грани призмы Дове будет при ее вращении находиться в плоскости экватора. Легко видеть, что визирный луч после призмы Дове будет описывать конус с углом 2γ при вершине. Траекторией точки K' будет окружность с радиусом r. Из принципа работы призмы Дове ясно, что визирный луч будет вращаться с угловой скоростью, в два раза большей скорости вращения призмы Дове и совпадающей со скоростью вращения головной призмы. Таким образом, визирный луч синхронно вращается вместе с головной призмой, а наклон оси r есть известный угол q (см. рис. 33), имеющий постоянное значение. При наклоне оси в произвольной плоскости, повернутой относительно плоскости XOZ на угол φ, вектор $\bar{r}$ даст, как и для случая q, составляющую $r \sin \varphi$. Эта ошибка устраняется сдвигом призмы с крышей (см. рис. 12, *а*).

Г. Разность значений углов 45° призмы Дове.

Из рис. 35, *г* видно, что в этом случае призма становится клиновидной — угол σ, отклоняя визирный луч на дополнительный и постоянный угол ω в той же плоскости, в которой возникает и коллимационная ошибка. Поэтому эти ошибки могут компенсироваться.

Д. Пирамидальность призмы Дове.

Пирамидальность π призмы Дове отклоняет визирный луч на постоянный угол в плоскости, нормальной плоскости ошибки углов в 45°. Поэтому ликвидация этой деюстировки может быть достигнута только заменой призмы.

Таким образом, панорама имеет следующие деюстировки:

1) ошибки юстировки головного зеркала k, l, m (см. юстировка перископа);

2) ошибки юстировки призмы Дове и визирной оси s, K_D и r (или q);

3) ошибки изготовления призмы Дове.

Контроль увода визирных осей

Обнаружить увод визирной оси прибора от вертикальной плоскости при сравнительно небольших углах можно при помощи отвеса *1* (рис. 36, *а*) или коллиматора *2* (рис. 36, *б*). В обоих случаях ось испытуемого прибора *3* должна быть вертикальна, как и нить отвеса или штрих сетки коллиматора.

Установив указанным образом отвес (или коллиматор) и

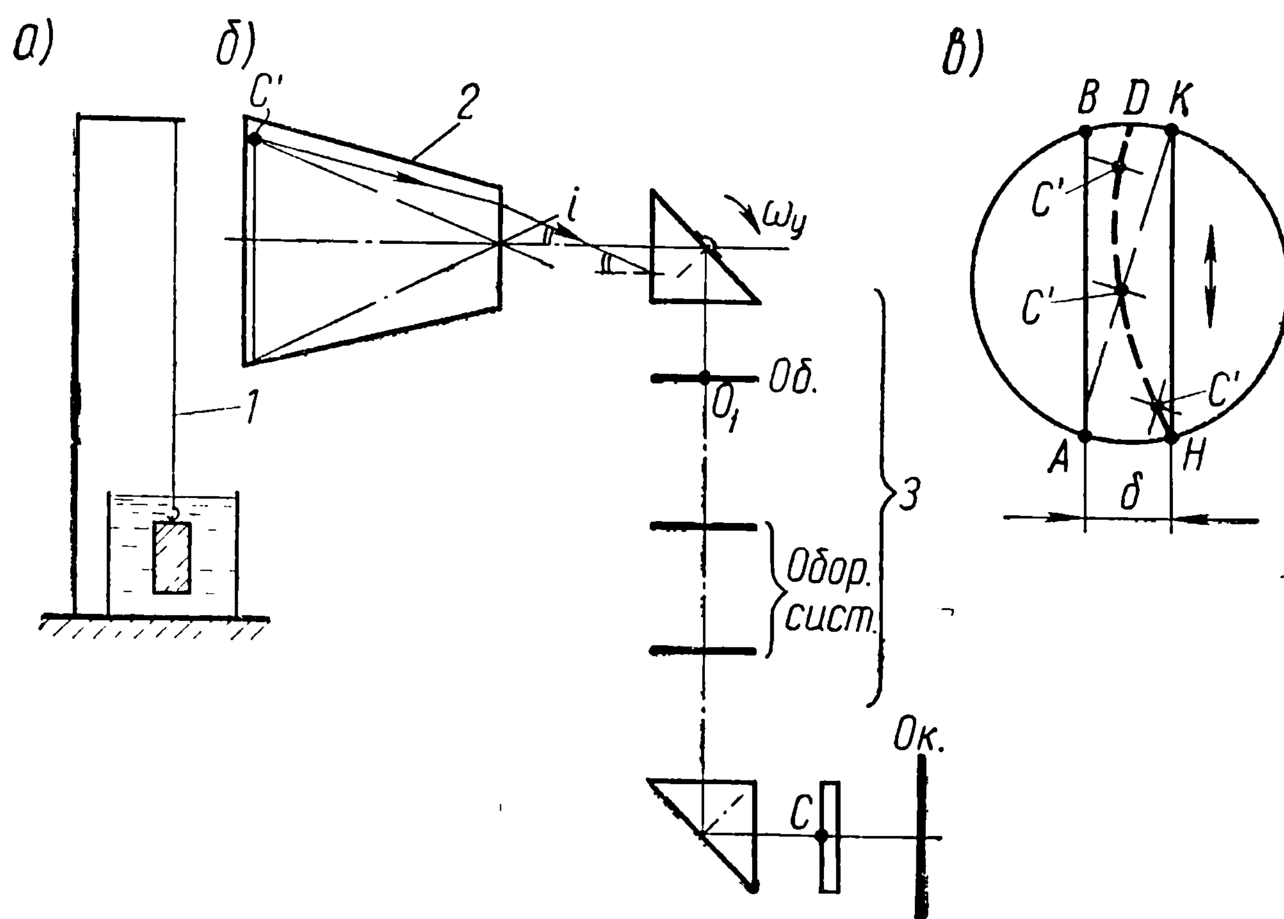


Рис. 36

прибор, вращают визирную призму в пределах установленных углов i и наблюдают за положением изображения C' перекрестия C сетки прибора по отношению к нити отвеса или сетки коллиматора (рис. 36, *в*).

Если увода визирной оси нет, то точка C' при вращении визирной призмы будет перемещаться по линии отвеса. При уводе оси точка C' будет перемещаться от вертикали по определенной траектории, например DH (рис. 36, *в*).

Для количественной оценки величины увода на сетке коллиматора наносят два параллельных вертикальных штриха BA и KH (рис. 36, *в*), расстояние δ между которыми определяет поле допуска на увод оси. Можно измерить величину увода и при помощи шкалы, нанесенной на сетке коллиматора.

При углах i, находящихся в пределах 0—90° и 0—180°, контроль увода оси от вертикали производится при помощи пла-

нетарных коллиматоров и вертикальных гониометров.

На рис. 37 представлена схема установки с планетарными коллиматорами, позволяющая оценивать увод оси для углов i в пределах от горизонта до зенита. Прибор представляет собой ряд коллиматорных трубок *1*, оси которых находятся в одной меридиональной плоскости и направлены под заданными углами i к горизонту в центр *O*, совпадающий с осью вращения визирной призмы *2* (здесь должен находиться центр зрачка входа прибора). Контроль увода оси заключается в последовательном наведении изображения C' перекрестия *C* сетки испытуемого прибора на перекрестия сеток *3* коллиматорных трубок, имеющих либо шкалу, либо допусковое поле δ (см. рис. 36,*в*). Необходимо, чтобы испытуемый прибор был расположен вертикально. Правильное положение коллиматорных трубок достигается их регулировкой в обоймах *4* при помощи теодолита *5*, устанавливаемого так, чтобы ось вращения его трубы совпадала с центром *O*.

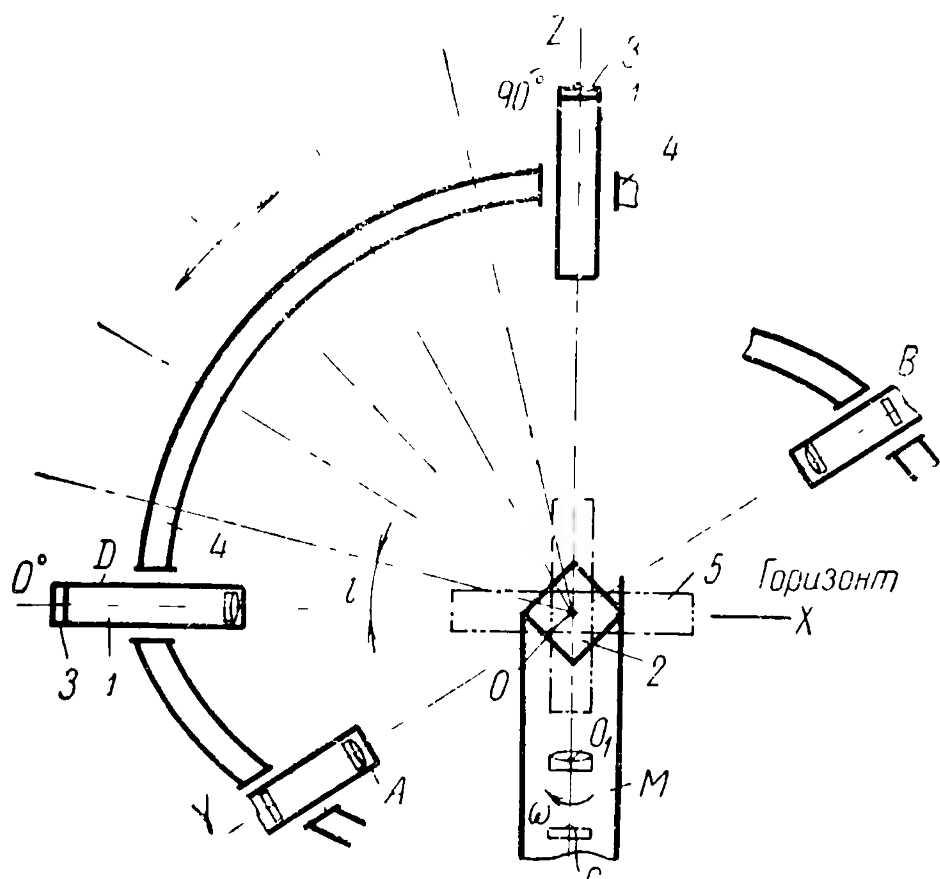


Рис. 37

Для контроля увода оси в пределах углов от 0 до 180° удобен вертикальный гониометр, схема которого дана на рис. 38. Испытуемый прибор *1* закрепляется в державке *2* так, чтобы ось прибора была вертикальна. Это достигается либо путем наклона прибора в державке (угол ρ), либо соответствующим наклоном самой державки вместе с прибором. В первом случае уровень *3*, указывающий вертикаль, должен быть связан с самим прибором; во втором случае (рис. 38, *б*) — с державкой. Крепление прибора в державке должно обеспечивать совпадение оси *OO* вращения визирной призмы *4* с осью *MN* конуса *5*, которая должна быть горизонтальна. Кронштейн *6* связан с коллиматором *7* и вращает его относительно оси *MN* так, чтобы визирная ось коллиматора при любых углах i визирования находилась бы в вертикальной плоскости. При контроле увода оси поворачивают рукоятку *8* прибора, устанавливая определенное деление шкалы углов против индекса *K*. При этом призма *4* поворачивается, отклоняя визирный луч на угол i.

При помощи специального механизма (на рис. 38 не пока-

зан) поворачивают коллиматор *7* до совмещения изображения *C′* центра перекрестия сетки коллиматора с центром *K* перекрестия сетки прибора (рис. 38, *б*). При уводе оси изображение *C″* центра перекрестия сетки коллиматора будет лежать на

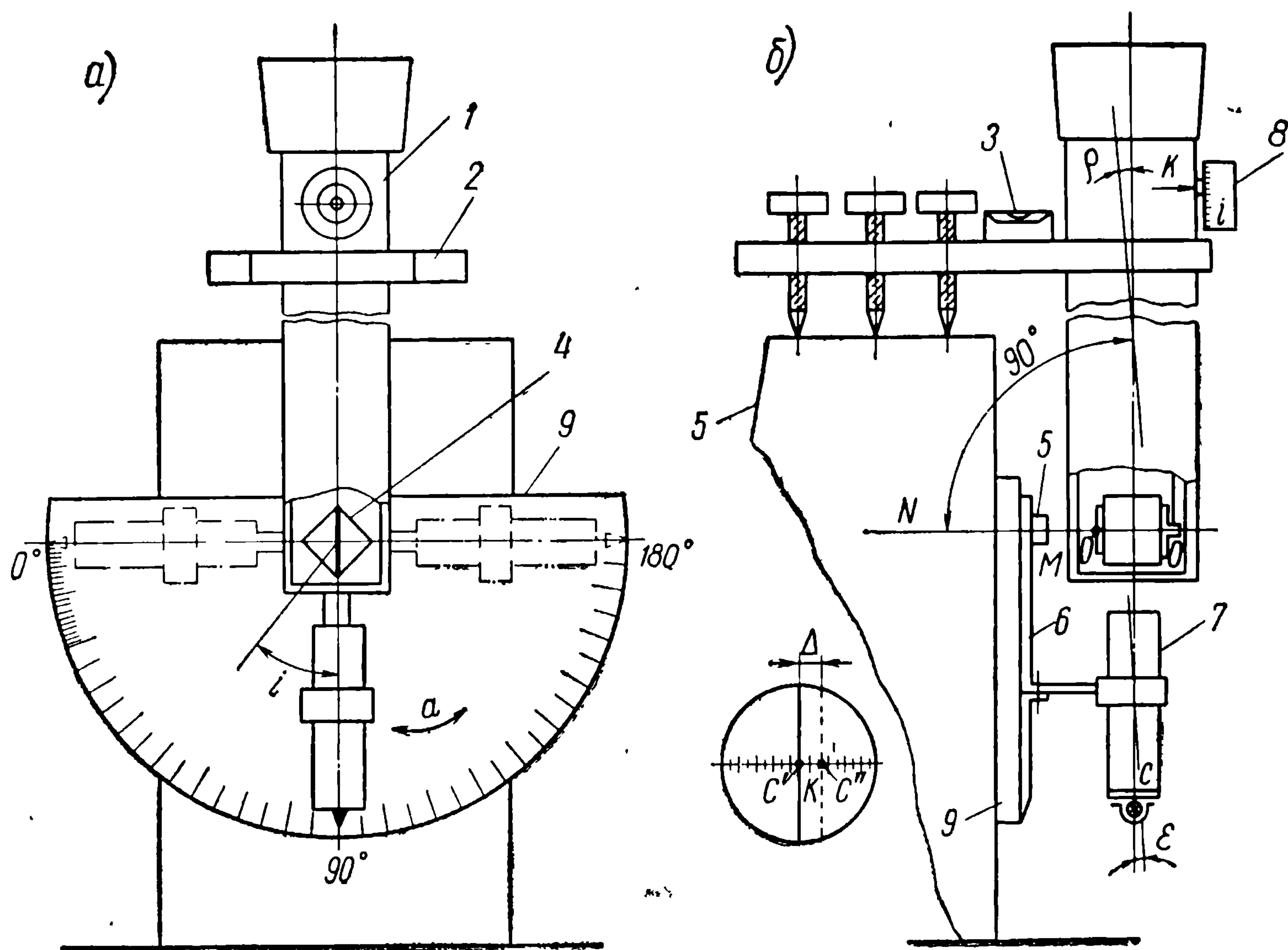


Рис. 38

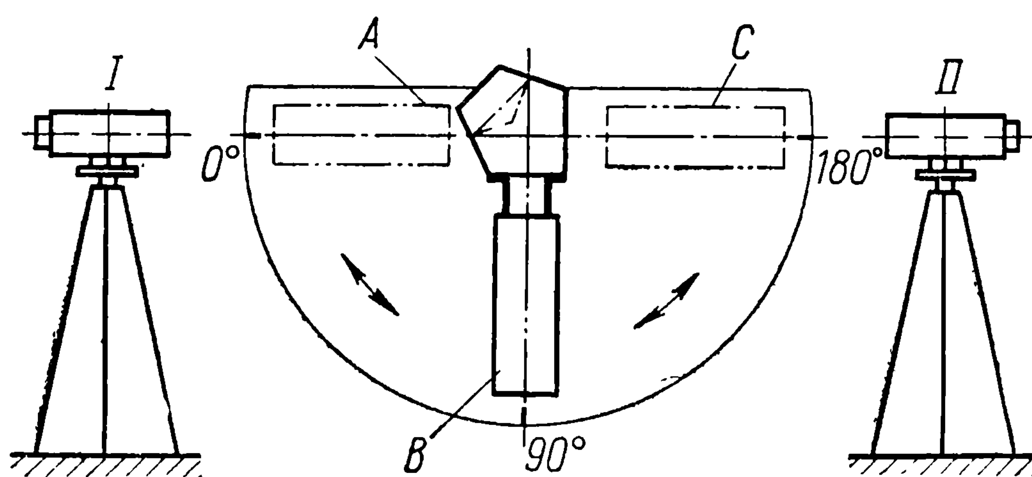
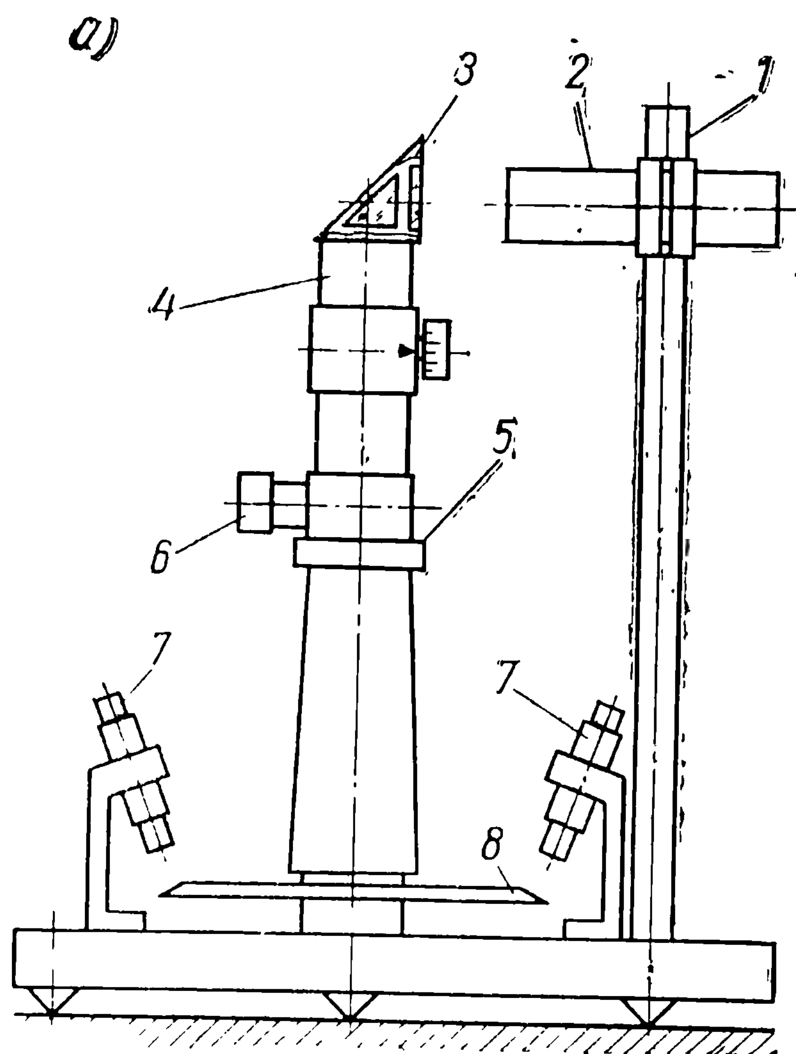


Рис. 39

горизонтальной линии сетки прибора, но сместится от ее центра *K* на величину Δ (рис. 38, *б*).

Устранение наклона коллиматора на угол ε от вертикальной плоскости достигается его поворотом в кронштейне *6* (возможность этой юстировки должна быть предусмотрена конструкцией кронштейна). Эта юстировка коллиматора осуществляется при помощи двух нивелиров и пентапризмы (рис. 39). Устанавливают два нивелира *I* и *II* так, чтобы оси их труб были горизон-

тальны и близки друг к другу. В этом случае изображение перекрестия сетки одного из коллиматоров будет совпадать с перекрестием сетки другого. Устанавливают коллиматор *7* (см. рис. 38) в положение *А*, добиваясь совпадения изображения его сетки с сеткой нивелира *II*. Затем поворачивают коллиматор и устанавливают в положение *С*, осуществляя теперь совпадение креста коллиматора с крестом нивелира *I*. Наконец, переводят коллиматор в положение *В* и при помощи пентапризмы, помещаемой на коллиматоре, добиваются совпадения перекрестий сетки коллиматора с сетками обоих нивелиров. Очевидно, что при такой юстировке коллиматора его визирная ось будет находиться в вертикальной плоскости при любом угле *i*.



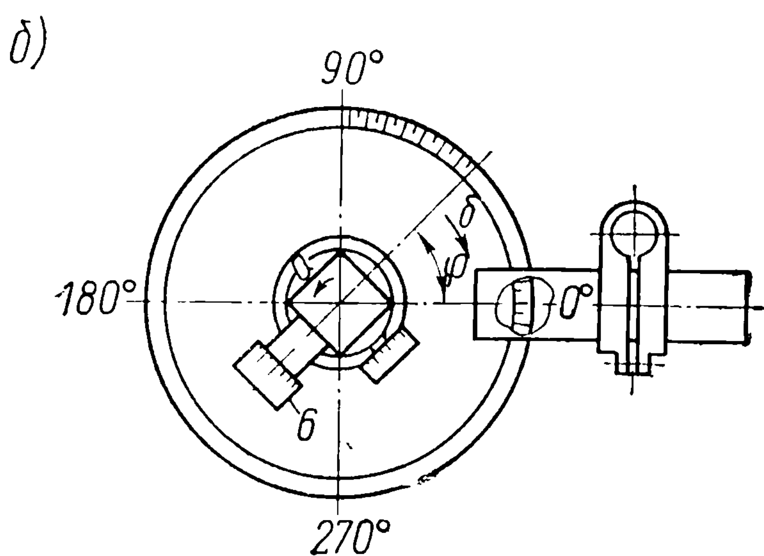


Рис. 40

Контроль увода оси от горизонта производится при помощи широкоугольного коллиматора (см. рис. 36,*б*), планетарных коллиматоров (см. рис. 37) и горизонтального гониометра (рис. 40). В первом случае коллиматор должен иметь сетку с горизонтальным штрихом. При втором способе оси коллиматоров должны быть расположены в горизонтальной плоскости. Методика контроля увода оси аналогична способу контроля увода от вертикали (см. выше).

Горизонтальный гониометр может быть устроен так же, как и вертикальный (см. рис. 38), но при вращении коллиматора *7* в горизонтальной плоскости.

Возможна и другая схема контроля при неподвижном коллиматоре. На рис. 40 показан горизонтальный гониометр для контроля углов визирования в панораме в пределах 0—360° по горизонту. Коллиматор *2* неподвижно закреплен на стойке *1*; ось коллиматора горизонтальна и лежит в вертикальной плоскости, проходящей через нуль шкалы лимба *8*. Испытуемый прибор *4* (например, панорама) крепится в державке *5*, позво-

ляющей установить ось прибора вертикально. Ось прибора совмещена с осью вращения лимба *8*, вокруг которой лимб с прибором может вращаться.

Для контроля увода оси от горизонтальной плоскости поступают следующим образом. При помощи рукоятки *6* прибора (рис. 40, *б*) поворачивают (по стрелке *а*) его головку *3* вместе с визирным лучом на требуемый угол φ, устанавливаемый по шкале рукоятки *6*. После этого вращают в обратную сторону (по стрелке *б*) прибор с лимбом, добиваясь совмещения креста сетки испытуемого прибора с изображением сетки коллиматора (см. рис. 38, *б*) и оценивая увод оси Δ по шкале сетки коллиматора, как было указано выше.

Определение причины увода оси

Увод оси возникает в случае ряда деюстировок. Чем проще конструкция регулируемого узла, тем легче найти причину увода. Так, например, при юстировке призмы Дове в оправе (см. рис. 98) устраняется только коллимационная ошибка, т. е. наклон плоскости гипотенузы к оси оправы призмы. Поэтому в сложных приборах желательно вести последовательно ряд простых юстировок, причины нарушения которых очевидны. Однако, хорошо зная причины деюстировок прибора, можно их обнаруживать и при контроле сложных узлов и всего прибора.

Рассмотрим для примера контроль и юстировку перископа с качающейся визирной призмой (см. рис. 29, *а* и 30) на установке при помощи планетарных коллиматоров в вертикальной плоскости и трех (*A*, *D* и *B*) в горизонтальной (см. рис. 37). Установим испытуемый прибор *M* с визирной призмой *2* приблизительно вертикально и совместим изображение перекрестия *C* сетки прибора с центром сетки *3* горизонтального коллиматора *D*. Развернем испытуемый прибор вокруг оси *Z* по стрелке ω и наведем точку *C* его сетки последовательно на перекрестия сеток горизонтальных коллиматоров *A* и *B*. Предположим, что при этом обнаружится увод оси от горизонта.

Обратившись к рассмотренным выше деюстировкам визирного зеркала, замечаем, что увод оси от горизонта возникает при наклоне оси вращения прибора от вертикали. Устранив этот наклон регулировкой прибора по коллиматорам *A* и *B*, наведем призму *2* на сетку коллиматора *D*, а после этого на перекрестие сетки вертикального коллиматора при угле $i=90°$.

Если при этом увод $a_i=0$, то это значит, что отсутствуют коллимационная ошибка (см. рис. 31) и наклон оси вращения призмы (см. рис. 32). Если же при визировании в зенит обнаруживается увод, то это значит, что он вызван наклоном оси *q* (см. рис. 33), который и следует исправить передвижением объектива или сетки (по стрелке *а*) перпендикулярно оси прибора

(см. рис. 33, *б*). Если после этого при наводке перекрестия прибора на сетки промежуточных коллиматоров, расположенных под углами i к горизонту, обнаруживается увод оси, то очевидно, что он обусловлен или коллимационной ошибкой K, или наклоном l оси вращения призмы.

Устранение ошибок, вызывающих увод визирных осей

Принципиально каждую деюстировку можно исправить. Однако часто целесообразно применять взаимную компенсацию ошибок. На рис. 41, *а* даны (по данным Г. В. Погарева) графики уводов визирной оси вследствие наклона l горизонтальной оси MN головной призмы и коллимационной ошибки K призмы в перископах с $\Omega = -90°$.

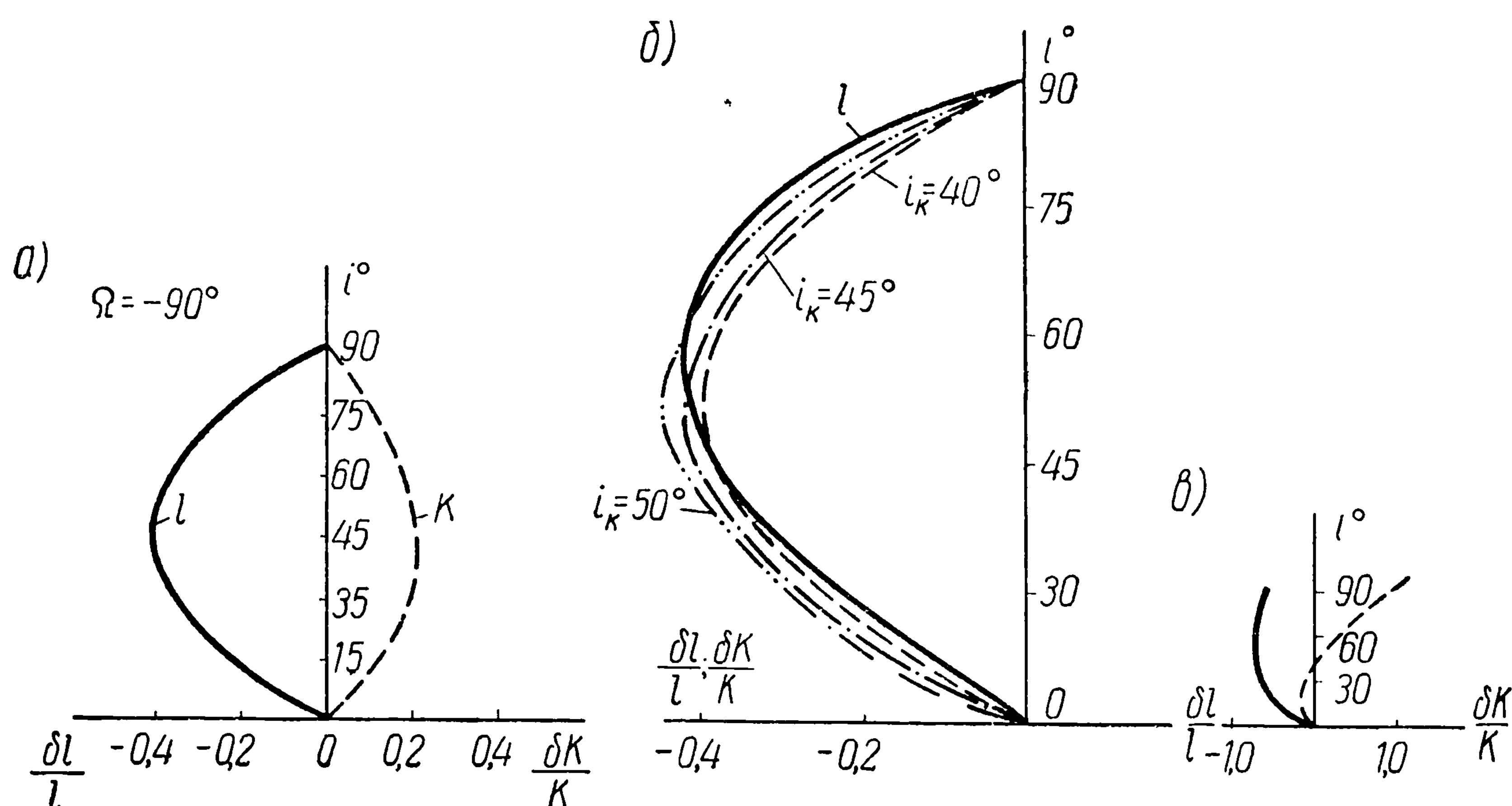


Рис. 41

Так как ошибки K и l имеют разные знаки, то очевидна возможность их взаимокомпенсации. На рис. 41, *б* показаны графики коллимационной ошибки K для компенсации влияния наклона l горизонтальной оси вращения визирной призмы при различных углах i: 40, 45 и 50°.

Очевидно, что конструкция прибора должна позволять осуществлять компенсацию ошибок путем применения соответствующих устройств. Примером применения взаимной компенсации ошибок сборки может служить также юстировка призмы Дове. В этом случае возможна взаимная компенсация коллимационной ошибки призмы (см. рис. 35, *б*) и разности ее углов 45° (см. рис. 35, *г*), так как в обоих случаях отклонение визирного луча происходит в плоскости главного сечения на постоянную угловую величину.

В некоторых случаях взаимокомпенсация ошибок юстировки неэффективна. Это видно, например, из графиков ошибок наклона горизонтальной оси вращения визирной призмы и ее коллимационной ошибки (рис. 41, *в*). Бывает, что взаимная компенсация ошибок невозможна. Примером этого могут служить ошибки пирамидальности призмы Дове, которую нельзя компенсировать ошибкой ее юстировки, так как визирные лучи в результате этих ошибок отклоняются в различно ориентированных плоскостях.

§ 12. Разрешающая сила и качество изображения

Сущность методов исследования данных свойств оптической системы подробно рассмотрена в курсах «Прикладная оптика» и «Контрольные оптические измерения». Поэтому ниже приводятся лишь краткие сведения по контролю указанных свойств в производственных условиях.

Теоретически разрешающая сила идеального объектива определяется по формуле

$$\gamma = \frac{140}{D_{з.вх}}, \qquad (111)$$

т. е. зависит только от действующего диаметра объектива. Практически разрешающая сила объектива ухудшается вследствие плохой центрировки объектива и натяжений в линзах, появляющихся в результате сильного сдавливания линз при сборке.

Проверка разрешающей силы объектива выполняется при помощи испытательной шкалы миры* (рис. 42), устанавливаемой от объектива на расстоянии, на котором помещается обычно объект при эксплуатации объектива.

Разрешающая сила объектива телескопических приборов определяется углом ε, под которым видны раздельно два соседних штриха A и B — элементы миры (рис. 43, *а*).

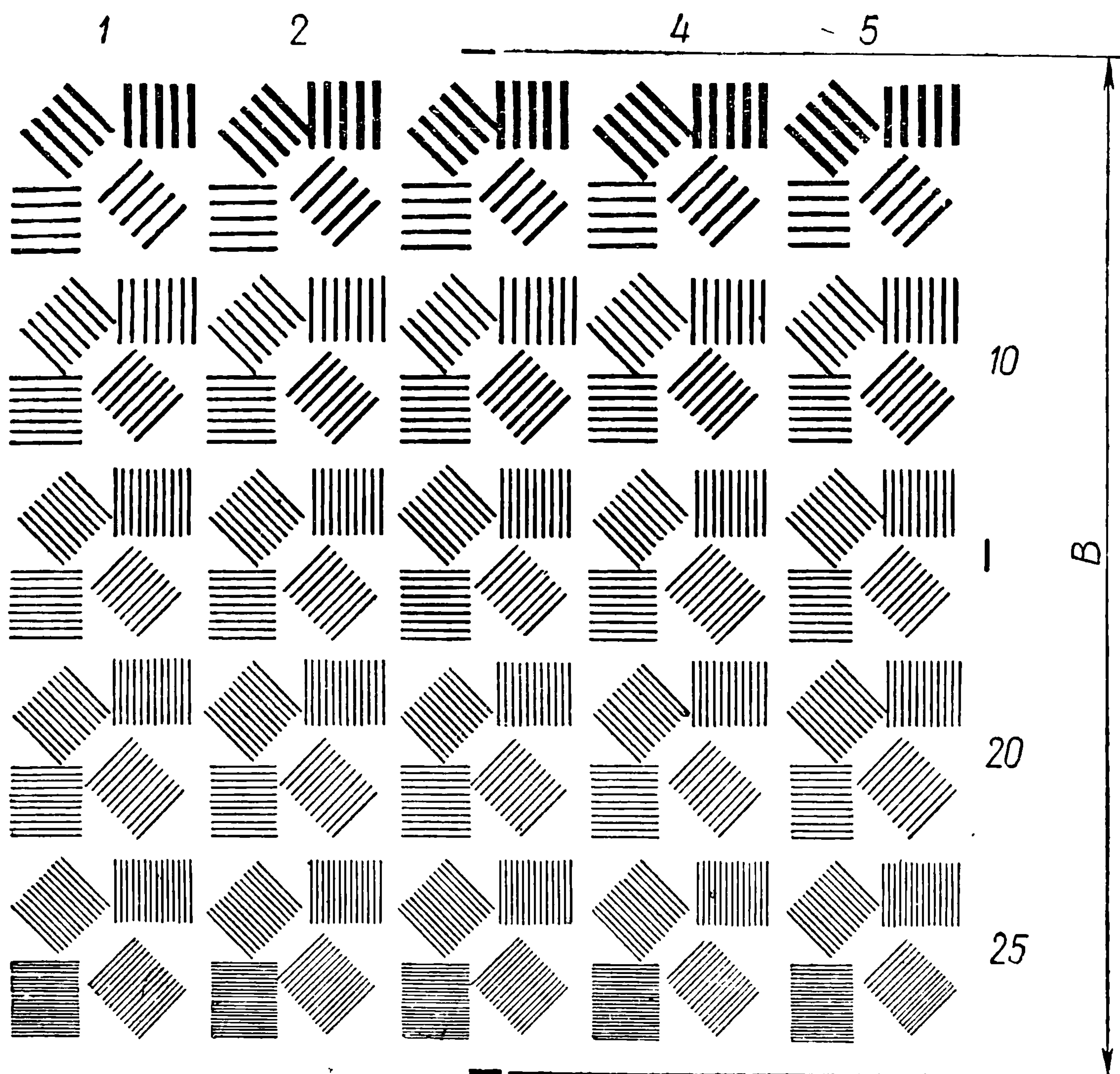
Для объектива A, работающего на конечном расстоянии L от объекта l (рис. 43, *б*),

$$\varepsilon = \frac{2\Delta}{L} 206\,000, \qquad (112)$$

где Δ — ширина штрихов миры или белого промежутка между ними (рис. 42 и 43, *а*).

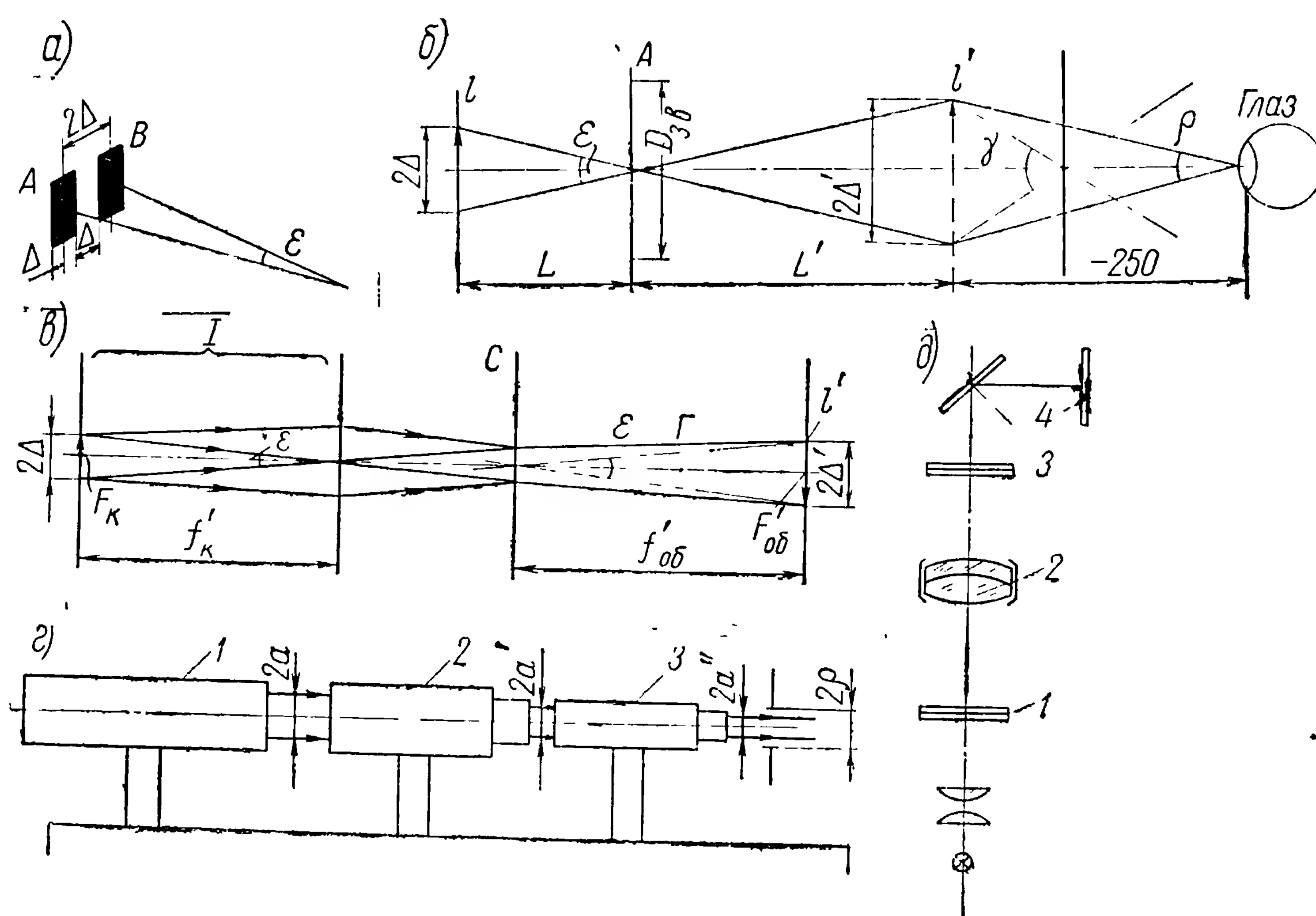
Для объектива C, работающего на бесконечность, $\varepsilon = \frac{2\Delta}{f'_к} 206\,000$, где $f_к'$ — фокусное расстояние коллиматора I (рис. 43, *в*), в фокусе $F'_к$ которого установлена мира l.

* Предполагается, что читатель имеет представление о мире из курсов «Прикладная оптика» и «Оптические измерения».



1
2
4
5
10
20
25
B

Рис. 42



а)
2Δ
A
B
Δ
Δ
ε
б)
l
A
$D_{зв}$
l'
Глаз
2Δ
ε
2Δ'
γ
ρ
L
L'
−250
в)
I
C
ε
Г
l'
2Δ
ε
$F_к$
2Δ'
$f'_к$
$f'_{об}$
$F'_{об}$
д)
4
3
2
1
г)
1
2a
2
2a'
3
2a''
2ρ

Рис. 43

В первом случае (рис. 43, *б*) изображение l' миры будет находиться от испытуемого объектива A на сопряженном расстоянии L'; во втором (рис. 43, *в*) — в заднем фокусе $F'_{об}$ объектива. Линейная величина изображения $2\Delta'$ интервала 2Δ миры будет зависеть либо от расстояния L' (рис. 43, *б*), либо от фокусного расстояния объектива $f_к'$ коллиматора *I* (рис. 43, *в*).

При наблюдении отрезка $2\Delta'$ невооруженным глазом с расстояния наилучшего зрения (например, 250 *мм* на рис. 43, *б*) угол ρ, под которым будут видны середины изображения штрихов миры, может быть меньше разрешающей силы глаза. В этом случае изображение миры следует рассматривать в лупу или микроскоп *II* под углом

$$\gamma \geqslant \rho \Gamma, \tag{113}$$

где Γ — видимое увеличение лупы или микроскопа.

Для фотографических объективов разрешающую силу принято оценивать числом N разрешаемых штрихов элемента миры, укладывающихся на расстоянии, равном 1 *мм*.

Очевидно, что

$$N = \frac{1}{2\Delta} = \frac{206\,265}{f'_к \varepsilon''} = \frac{60}{B} K_N, \tag{114}$$

где B — длина базы миры, *мм* (рис. 42), а $K_N = 1{,}06^{N-1}$, где N — номер элемента миры. В технических условиях указывается число разрешаемых штрихов в центре поля и на его краю.

При контроле разрешающей силы фотографических объективов, помимо визуального наблюдения изображения штрихов миры, применяют метод наблюдения фотоснимка изображения миры (подробнее см. § 36).

Теоретически разрешающая сила телескопических труб определяется по формуле

$$\gamma''_п = \frac{\gamma_{гл}}{\Gamma_п}, \tag{115}$$

где $\gamma_{гл}$ — разрешающая способность глаза;

$\Gamma_п$ — видимое увеличение прибора.

Контроль разрешающей силы телескопической трубы *2* производится при помощи коллиматора *1* с мирой и дополнительной телескопической трубкой *3* (рис. 43, *г*).

Действие дополнительной трубки аналогично работе микроскопа *II* (рис. 43, *б*) при контроле разрешающей силы объективов.

Увеличение $\Gamma_т$ трубки надо выбирать так, чтобы: 1) повысить угловые величины, под которыми глаз видит изображение миры через испытуемый прибор, доведя их до разрешающей си-

лы глаза, 2) диаметр $2a''$ выходного зрачка системы (испытуемый прибор плюс трубка) был меньше диаметра глаза 2ρ. В этом случае в глаз попадут лучи из различных зон поля зрения, и он сможет лучше учесть влияние аберраций системы, особенно когда они велики на краю поля. Кроме того, при достаточно малом значении $2a''$ (порядка 1 *мм*) зрачок глаза практически диафрагмируется до размеров, при которых аберрации глаза становятся весьма малы, что позволяет вести оценку разрешающей силы практически любыми наблюдателями с одинаковой чувствительностью.

Подберем для примера увеличение $\Gamma_т$ трубки для контроля бинокля 6×30, т. е. с увеличением $\Gamma_п=6^х$ и диаметром $2a = 30$ *мм*. Считая, что $\gamma_{гл}=60''$, получим $\gamma''_п = \frac{60''}{6^х} = 10''$. Для того чтобы элемент миры с углом $\varepsilon=10''$ разрешался глазом, необходимо этот угол сделать большим в $\frac{60''}{10''} = 6$ раз, т. е. $\Gamma_т = 6^х$.

Выберем теперь увеличение $\Gamma_т$ трубки с учетом заданного диаметра выходного зрачка $2a''$ трубки.

Очевидно, что видимое увеличение системы (прибор плюс трубка)

$$\Gamma_с = \Gamma_п\Gamma_т = \frac{2a}{2a''}, \qquad (116)$$

где $\Gamma_п$ — видимое увеличение прибора;

$2a$ — диаметр зрачка входа прибора.

Из (116) очевидно

$$\Gamma_т = \frac{2a}{\Gamma_п 2a''}. \qquad (117)$$

Выберем $2a''=1$ *мм*, тогда для $2a=30$ *мм* получим $\Gamma_т = \frac{30}{6\cdot1} = 5^х$. Это значение нас не удовлетворяет, поскольку выше было найдено $\Gamma_т=6^х$. Следовательно, во втором случае надо взять $2a''$ еще меньше $\approx 0{,}5\div0{,}6$ *мм*.

При пользовании лупой или микроскопом (рис. 43, *б*) наводят их на резкое изображение l' миры и замечают элемент миры, штрихи которого резко видны во всех направлениях. По номеру квадрата миры, число штрихов которого в интервале одного элемента должно быть известно, определяют разрешающую силу. При работе с дополнительной телескопической трубкой (рис. 43, *г*) устанавливают испытуемый прибор *2* между коллиматором и трубкой, причем окуляр прибора должен быть установлен на нуль диоптрий. После этого контролируют разрешающую силу, как и при пользовании микроскопом, фокусируя окуляр трубки *3* на резкое видение изображения миры.

Миры рассчитываются для определенного диапазона разрешающей силы. В пределах от 0″,34 до 1°50′ используется набор мир для коллиматоров с f' в диапазоне от 600 до 3000 *мм*.

Обычно при проверке прибора применяют коллиматор с мирой, в которой номинальная разрешающая сила испытуемого прибора соответствует тринадцатому элементу миры; он располагается в центре миры.

Большое значение для контроля разрешающей силы системы имеет правильное освещение миры. Оно осуществляется рассеянным светом при помощи матового или молочного стекла *3*, помещаемого между источником света *1* и мирой *4* (см. рис. 27, *б*).

Очень важна также яркость освещения миры, обеспечивающая контраст штрихов ее элементов на белом фоне. Он должен соответствовать контрасту наблюдаемых объектов в естественных условиях эксплуатации системы прибора. Так, например, для контроля аэрофотосъемочных объективов рациональнее иметь малоконтрастные миры, поскольку в аэроландшафте преобладают объекты с малым контрастом.

Качество изображения системы прибора определяется степенью резкости изображения в пределах поля зрения, искривлением формы изображения и его окраской. При правильной коррекции системы качество изображения собранного прибора зависит в первую очередь от точности обработки оптических деталей и показателей качества стекла. Ухудшают качество изображения децентрировка системы, сильное сжатие оптических деталей и рассеивание света оправами деталей и самими деталями.

Качество изображения оптических систем приборов в производственных условиях определяют по качеству изображения миры или качеству центрировки, наблюдая в этом случае дифракционное изображение искусственной звезды (см. § 10). Более полно качество изображения фотообъективов оценивается рядом методов, описываемых в соответствующей литературе. К таким методам, например, относятся фотоэлектрическое исследование распределения интенсивности в изображениях штрихов миры * и метод контрастно-частотных характеристик **.

На разрешающую силу и качество изображения оптической системы прибора влияет также и разрешающая сил ее компонентов, например оборачивающих систем и призм значительных размеров; перед сборкой они должны также контролироваться

---

* «Оценка качества оптического изображения». Геодезиздат, 1959 (перевод с английского О. А. Герасимовой).

** «Оптико-механическая промышленность». А. Т. Ащеулов, Н. П. Березин и Н. Н. Соколов. 1958, № 3, стр. 3; 1960, № 6, стр. 1; 1961, № 11, стр. 29; 1963, № 5, стр. 2.

на разрешающую силу и при неудовлетворительной оценке заменяться.

Помимо контроля разрешающей силы и качества изображения ряд объективов проверяется на величину **натяжений**, возникающих в стекле при сборке, например при сильном сжатии в оправах. Этот контроль выполняется при помощи поляризационной установки, схематично представленной на рис. 43, *д*. Испытуемый объектив *2* помещается между поляризатором *1* и анализатором *3*, установленными на темноту. Если объектив не имеет натяжения, то на экране *4* наблюдается равномерный фиолетовый фон. При наличии натяжений окраска фона меняется в зависимости от их величины. Можно вести наблюдение и через окуляр. На натяжения проверяются иногда и узлы с бо́льшими призмами.

§ 13. Правильность установки диоптрийной шкалы окуляра

Если окуляр *1* прибора *I* (рис. 44, *а*) имеет перемещение для корректировки аметропии глаза, то необходимо диоптрийную шкалу *2* окуляра при сборке установить так, чтобы при совпадении переднего фокуса окуляра с задним фокусом объектива отсчетный индекс *3* совпадал с нулевым делением диоптрий-

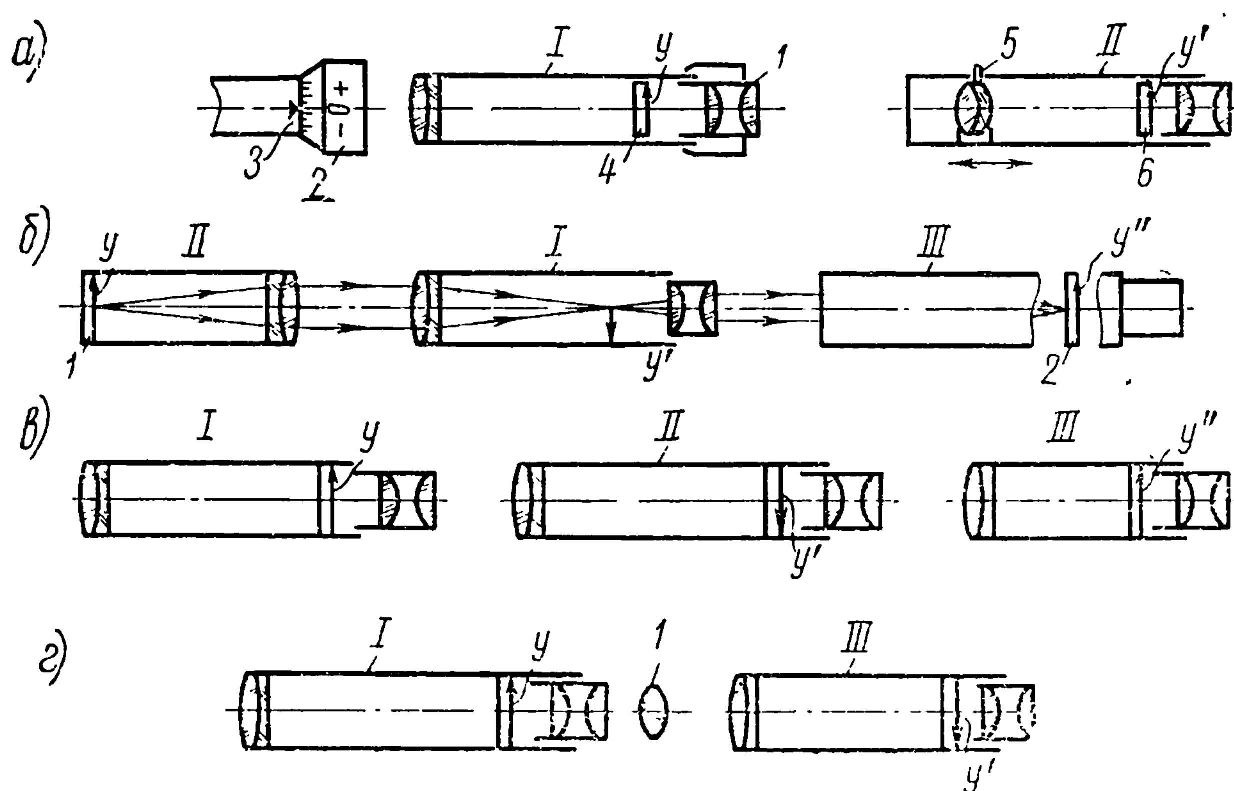


Рис. 44

ной шкалы и при установке шкалы на все ее деления окуляр обеспечивал необходимую сходимость лучей.

Проверка установки и правильности шкалы производится: 1) диоптрийной трубкой; 2) хорошо выверенной зрительной трубой с точно установленной и правильной диоптрийной шкалой; 3) набором диоптрийных линз.

При контроле шкалы *2* прибора *I* **диоптрийной трубкой** *II* (рис. 44, *а*) окуляр *1* прибора устанавливается так,

чтобы отсчетный индекс *3* совпал с нулевым делением шкалы *2*.

Поместив за окуляром прибора диоптрийную трубку *II*, устанавливают ее окуляр по глазу наблюдателя на резкое видение сетки трубки и перемещением объектива трубки *5* добиваются, чтобы изображение *y′* сетки *y* испытуемого прибора было резко видно в плоскости сетки *6* трубки. Если при этом индекс шкалы объектива трубки совпадает с нулем шкалы, то, значит, окуляр испытуемого прибора и его шкала установлены правильно. При неверном положении шкалы прибора индекс объектива диоптрийной трубы сместится на соответствующее число делений (или их долей) шкалы объектива трубки. Так же проверяются и другие деления окулярной шкалы прибора.

Если испытуемый прибор *I* не имеет сетки (рис. 44, *б*), то перед объективом прибора помещают коллиматор *II* с сеткой *1* (*y*), изображение *y′* которой получится в фокальной плоскости прибора *I*, а его изображение *y″* приводится в плоскость сетки *2* диоптрийной трубки *III*.

При контроле диоптрийной шкалы прибора *I* трубкой *II* с окулярной наводкой (рис. 44, *в*) необходимо иметь еще дополнительную зрительную трубку *III* для коррегирования аметропии глаза наблюдателя. Все три прибора устанавливаются так, как это показано на рис. 44, *в*. Установив окуляр испытуемого прибора *I* на нулевое деление диоптрийной шкалы, а окуляр трубки *III* — на резкое видение ее сетки, добиваются вращением окуляра трубы *II*, чтобы изображение *y″* сетки *y* испытуемого прибора совпало с плоскостью сетки трубки *III*. Если при этом нулевое деление шкалы трубы *II* совпадает с отсчетным индексом, то, значит, шкала испытуемого прибора установлена правильно. При неверном положении шкалы прибора индекс трубы *II* не будет совпадать с нулевым делением шкалы.

При контроле шкалы прибора *I*, имеющего сетку, набором диоптрийных линз *1* (рис. 44, *г*) также нужна дополнительная зрительная трубка *III*.

Установив окуляр испытуемого прибора *I* на нуль, а окуляр дополнительной трубки *III* — на резкое видение ее сетки, наблюдают в плоскости сетки изображение *y′* сетки *y* испытуемого прибора. Если это изображение видно резко, то шкала окуляра установлена верно. Если изображение *y′* видно нерезко, то за окуляром прибора устанавливают такую линзу *1*, которая привела бы изображение *y′* в плоскость сетки трубки *III*. Сила линзы *1*, выраженная в диоптриях, и определит величину неправильности установки шкалы окуляра прибора. Обычно диоптрийные линзы укрепляются на окулярной раковине прибора при помощи воска или пластелина. Сила линз в диоптрийном наборе изменяется через одну или половину диоптрии. Так же проверяются и другие деления шкалы.

§ 14. Основные свойства бинокулярных приборов

Общие положения

Бинокулярные приборы можно разделить на два основных вида — телескопические трубы и микроскопы.

По особенностям конструкции и сборки бинокулярные телескопические трубы можно разделить на следующие группы:

1) бинокли Галилея театральные (рис. 45, *а*), у которых база B прибора равна базе b невооруженного зрения, причем $B=b=\text{const}$. Установка окуляров по глазам на резкое видение изображения объекта осуществляется одновременным изменением расстояния между объективами и окулярами обеих трубок (стрелка *а*);

2) бинокли Галилея (рис. 45, *б*), позволяющие одновременно изменять расстояния между осями окуляров путем разворота обеих трубок относительно оси O шарнира. Коррекция глаз производится путем перемещения каждого окуляра в отдельности;

3) призматические бинокли (рис. 45, *в*), у которых $B\neq b$. Расстояние между осями глаз изменяется разворотом трубок относительно оси O_1O_2 шарнира бинокля, при этом удельная пластинка прибора, определяемая отношением $\frac{B}{b}$, постоянна. Каждый глаз наблюдателя коррегируется индивидуально путем перемещения окуляров трубок. Иногда в одной из трубок имеется дальномерная сетка;

4) стереотрубы с переменными B и b (на рис. 45 не показаны);

5) дальномеры (рис. 45, *г*), у которых $B>b$; база B постоянна; расстояние b между осями глаз регулируется при помощи ромбических призм A; каждый глаз коррегируется отдельно перемещением окуляра; в фокальных плоскостях объективов установлены дальномерные сетки E.

Типичным и основным свойством всех групп бинокулярных телескопических приборов является *параллельность оптических осей* обеих трубок, выдержанная с заданной степенью точности. В приборах с переменным расстоянием между осями окуляров оси должны быть параллельны друг другу при любом расстоянии b. Для большинства приборов имеет значение также разность увеличений $\Delta\Gamma$, параллаксов и наклонов изображения в обеих трубках. Существенное значение в дальномерах имеет одинаковое расстояние s' зрачков выхода обеих труб от последней поверхности окуляров, особенно при переменном расстоянии b между осями окуляров.

В бинокулярных микроскопах оптические оси трубок либо сходятся под определенным углом γ (на рис. 45, *е* оси

OA и *OE*) в плоскости объекта *P*, либо параллельны (на рис. 45, *ж* оси O_1A_1 и O_2A_2). Сходимость осей трубок в микроскопах первого типа является их характерным свойством, которое и

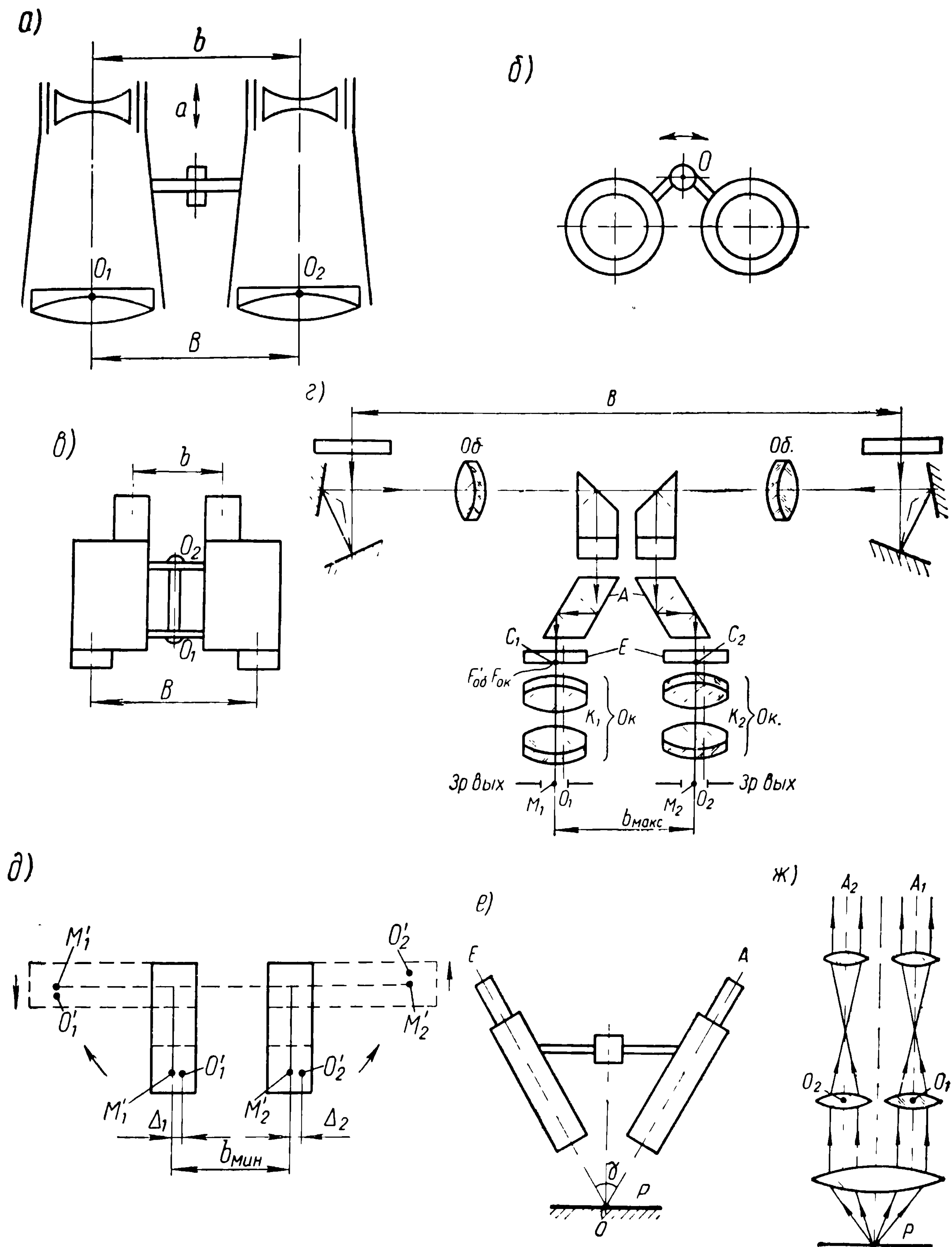


Рис. 45

должно обеспечиваться при юстировке прибора наряду с выполнением юстировок, присущих телескопическим бинокулярным приборам, и юстировок монокулярных микроскопов.

Параллельность оптических осей трубок

Если оптические оси обеих трубок прибора параллельны друг другу, то лучи, идущие от бесконечно удаленного объекта, выйдут из окуляров трубок параллельно первоначальному направлению, и оба изображения объекта, рассматриваемые через окуляры, сольются в одно, расположенное в бесконечности. При этом нормальные глаза работают без конвергенции и аккомодации. Поскольку от бесконечно удаленного объекта идут и наклонные пучки лучей под углом поля зрения W (см. рис. 1), то

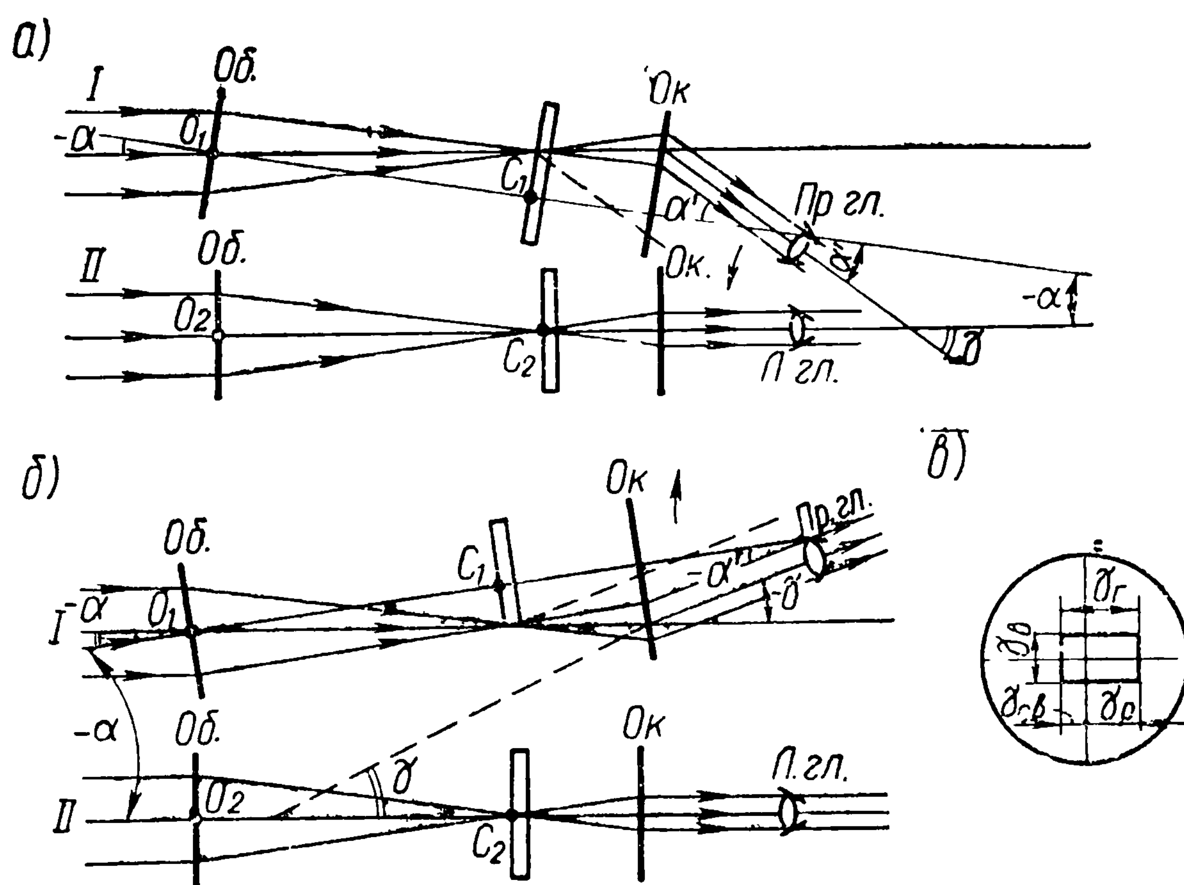


Рис. 46

необходимо, чтобы они выходили из окуляров обеих трубок также под одним и тем же углом W'. Разность этих углов затрудняет сведéние изображений в обеих трубках для края поля зрения, поэтому в приборах с большими увеличениями (например, дальномеры) необходимо задавать допуск на параллельность осей не только в центре, но и на краю поля.

Непараллельность оптических осей возникает при децентрировке трубок, причины которой рассмотрены в § 10, и перекосе трубок относительно оси их шарнира.

Если оптические оси O_1C_1 и O_2C_2 трубок (рис. 46, *а* и *б*) расположены под углом α, то лучи в одной из трубок (например, *I*) выйдут из окуляра под углом α' к своей оси и углом γ к оси другой трубки *II*. Вследствие этого ось правого глаза повернется под углом γ к оси второй трубки. Если угол γ достаточно мал, то глаза путем конвергенции смогут свести (рис. 46, *а*) или развести (рис. 46, *б*) пучки лучей, выходящие из окуляров, доведя их до взаимной параллельности, т. е. сведя оба изображения в одно.

Если угол γ велик, то глаза будут видеть два изображения объекта: прибор будет двоить. При непараллельности осей прибора глаза испытывают напряжение, утомляющее наблюдателя, особенно при длительной работе, поэтому наводка на объект затрудняется и точность ее понижается.

Как видно из рис. 46, глазам приходится либо сводить пучки, либо разводить, причем этот процесс может происходить, очевидно, в любой плоскости пространства. Однако это расхождение осей можно всегда разложить в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Расхождение осей определяется углом α, предельное значение которого зависит от допустимого угла γ, при котором глаза видят только одно изображение объекта.

Из рис. 46, *а* ясно, что

$$\gamma = -\alpha + \alpha'^{*}. \tag{118}$$

Так как

$$\alpha' = \alpha\Gamma, \tag{119}$$

то

$$\gamma = \alpha(\Gamma - 1), \tag{120}$$

откуда

$$\alpha = \frac{\gamma}{\Gamma - 1}. \tag{121}$$

Из формулы (121) видно, что допуск на параллельность осей уменьшается с ростом увеличения прибора Г.

Значения $\gamma_в$ и $\gamma_г$ для вертикальной и горизонтальной плоскостей различны. Глаза легче сводят изображения по горизонту, чем по вертикали, поэтому в горизонтальном направлении допустимый угол $\gamma_г$ больше, чем $\gamma_в$ в вертикальном. Кроме того, допуск на сведение осей $\gamma_{св}$ в горизонтальной плоскости строже, чем на их расхождение $\gamma_р$. Таким образом, поле допусков на непараллельность оптических осей трубок прибора будет иметь вид прямоугольника, несимметричного по отношению к центру поля зрения (рис. 46, *б*).

Численно значения допустимых углов α и γ зависят от типа прибора. Например, для театральных биноклей допуски в вертикальной плоскости обычно бывают порядка 20′, допуски в горизонтальной плоскости на схождение осей бывают порядка 30′ и на расхождение 60′. Для призматических биноклей соответственно имеем 15′, 20′ и 40′.

Из рис. 47, *а* видно, что при неравенстве фокусных расстояний объективов f_1' и f_2' (или окуляров) трубок, т. е. при различии их увеличений $\Delta\Gamma$, угол $W_1' \neq W_2'$ и соответствующие на-

* Знак «минус» к углам α и γ поставлен на рис. 46, *а* и *б* по правилам геометрической оптики.

клонные пучки лучей непараллельны друг другу. Это явление затрудняет сведение изображений в обеих трубках в одно, т. е. требует ужесточения допуска на непараллельность осей. Поэтому допуск $\Delta\alpha\Sigma$ на непараллельность оптических осей трубок прибора слагается из допуска $\Delta\alpha$ на непараллельность в центре

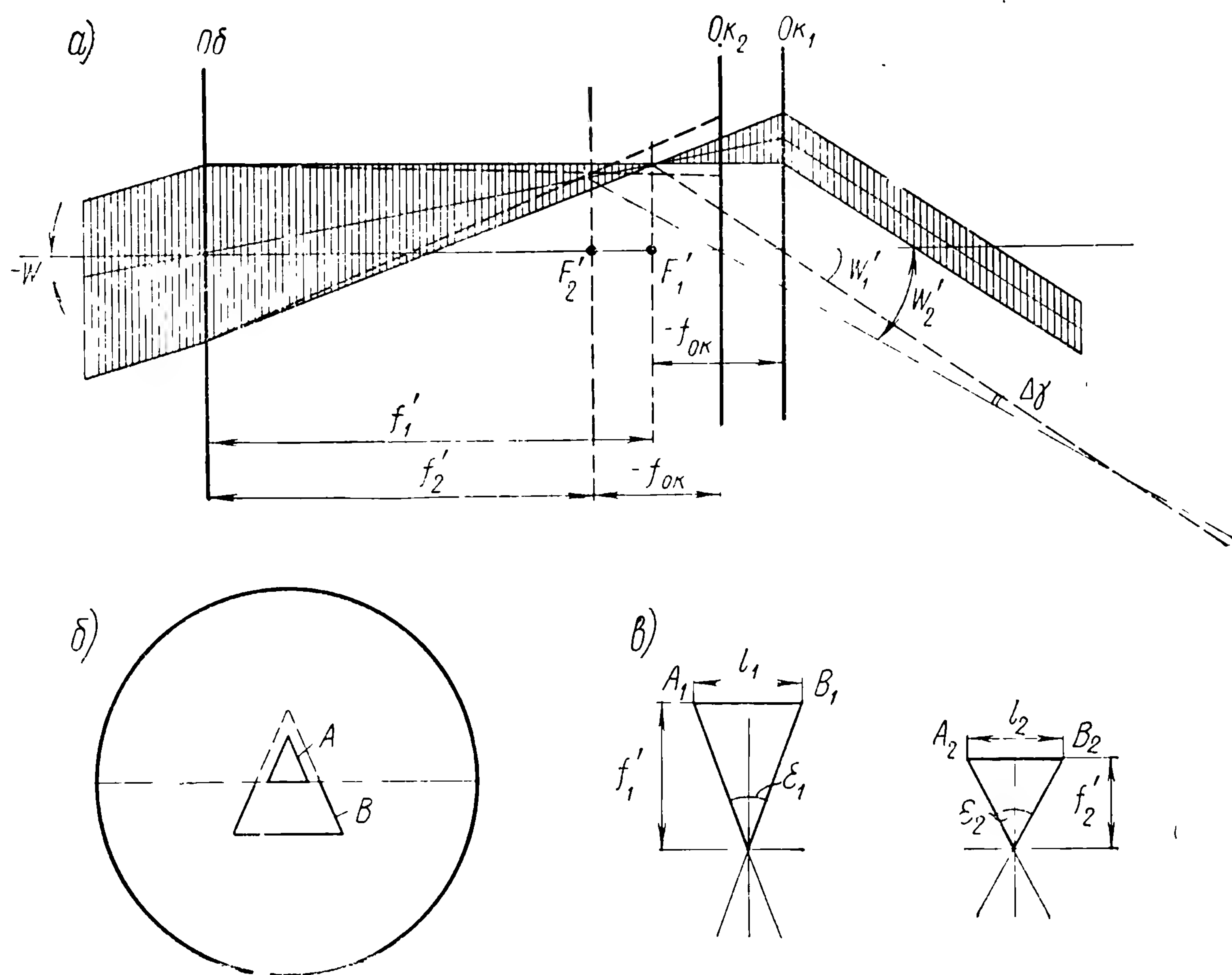


Рис. 47

поля (рис. 46, *а* и *б*) и допуска $\Delta\gamma$ на непараллельность наклонных пучков (рис. 47, *а*), т. е.

$$\Delta\alpha_\Sigma = \Delta\alpha + \Delta\gamma. \tag{122}$$

Очевидно,

$$\Delta\gamma = W(\Gamma_1 - \Gamma_2), \tag{123}$$

где W — угол поля зрения трубки прибора в пространстве объектов.

Обычно допуск $\Delta\gamma$ принимают в два раза шире допуска на непараллельность осей в центре поля.

Параллельность оптических осей окуляров

Оптические оси окуляров бинокулярного прибора должны совпадать с визирными осями его трубок и быть параллельными при установке окуляров по глазам наблюдателя и при раздви-

жении окуляров при их установке по базе глаз. Соблюдение этого условия особенно важно в том случае, когда окулярная часть прибора собирается и юстируется в отдельном узле (например, в стереодальномерах). В этом случае допуск на непараллельность осей окуляров устанавливается достаточно жесткий — порядка $5 \div 10'$.

Параллельность оптических осей окуляров при их установке по глазам наблюдателей. Этот допуск трудно выдержать, если при установке окуляров по глазам наблюдателя оправа окуляра вращается вместе с линзами. Легко понять, что при смещении оси оправы относительно оптической оси окуляра на величину Δ ось окуляра при его повороте на 180° наклонится на угол

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{f'_{ок}}. \qquad (124)$$

При строгих допусках на угол ε целесообразно фокусировку окуляра осуществлять его поступательным движением.

Параллельность оптических осей окуляров при изменении расстояния b между осями глаз наблюдателя. При изменении базы b вращением ромбических призм (см. рис. 45, *г* и *д*) видно, что непараллельность осей O_1K_1 и O_2K_2 окуляров возникает, если эти оси не совпадают с визирными осями C_1M_1 и C_2M_2 ромбических призм (точки M_1 и M_2 соответствуют центрам выходных зрачков трубок). Пусть, например, на рис. 45, *д* проекции O_1' и O_2' осей окуляра смещены относительно проекций M_1' и M_2' осей призм при расстоянии между ними $b_{мин}$ на величины Δ_1 и Δ_2. Если отрезки Δ_1 и Δ_2 равны друг другу и одинаково направлены относительно M_1 и M_2 при любом положении призм, то параллельность осей окуляров не нарушится. Однако при развороте призм, обеспечивающем максимальную базу $b_{макс}$, видно, что условие не будет выполнено: точки O_2' и O_1' будут расположены по разные стороны от линии $M_1'M_2'$, т. е. оси окуляров не будут параллельны.

Неравенство $\Delta\Gamma$ видимых увеличений трубок

Как было показано (рис. 47, *а*), разность увеличений трубок приводит к непараллельности наклонных пучков лучей. Помимо этого, разность увеличений затрудняет стереоскопическое совмещение изображений объектов в полях зрения трубок, а в дальномерах понижает точность измерения дистанции. Например, в монокулярном дальномере при различии увеличений Γ_1 и Γ_2 в правой и левой частях дальномера изображения в верхней и нижней частях поля зрения будут приобретать различные размеры A и B (рис. 47, *б*), что затруднит совмещение этих

изображений при измерении дистанции и понизит точность ее измерений.

В стереоскопическом дальномере при разности увеличений трубок произойдет следующее. Пусть на рис. 47, *в* фокусные расстояния окуляров f_1' и f_2' не равны друг другу. Тогда при равенстве ширины l_1 и l_2 измерительных марок AB края марки A_1B_1 окуляра с бо́льшим фокусным расстоянием f_1' будут видны под углом ε_1, меньшим угла ε_2. Следовательно, при стереоскопическом восприятии разница в углах ε_1 и ε_2 приведет к затруднению образования стереоскопического изображения марки, что понизит точность наведения ее на объект. У обычных биноклей относительная разность увеличений обеих трубок не должна превышать 20% при поле зрения окуляра до 50° и 15% — при большем поле. Для дальномеров допуски значительно строже и доходят до 0,3÷0,5%.

Причины изменения видимого увеличения труб рассмотрены в § 4. Устранение неравенства видимых увеличений при сборке может быть достигнуто: 1) сменой соответствующих объективов или окуляров; 2) изменением фокусного расстояния одного из объективов. Для объективов с воздушным промежутком между линзами изменение f' достигается регулированием воздушного промежутка. Для объективов, представляющих собой склеенные блоки (см., например, рис. 1, *б*), изменение f' осуществляется введением в систему соответствующей трубки дополнительной линзы с оптической силой нужного знака и величины.

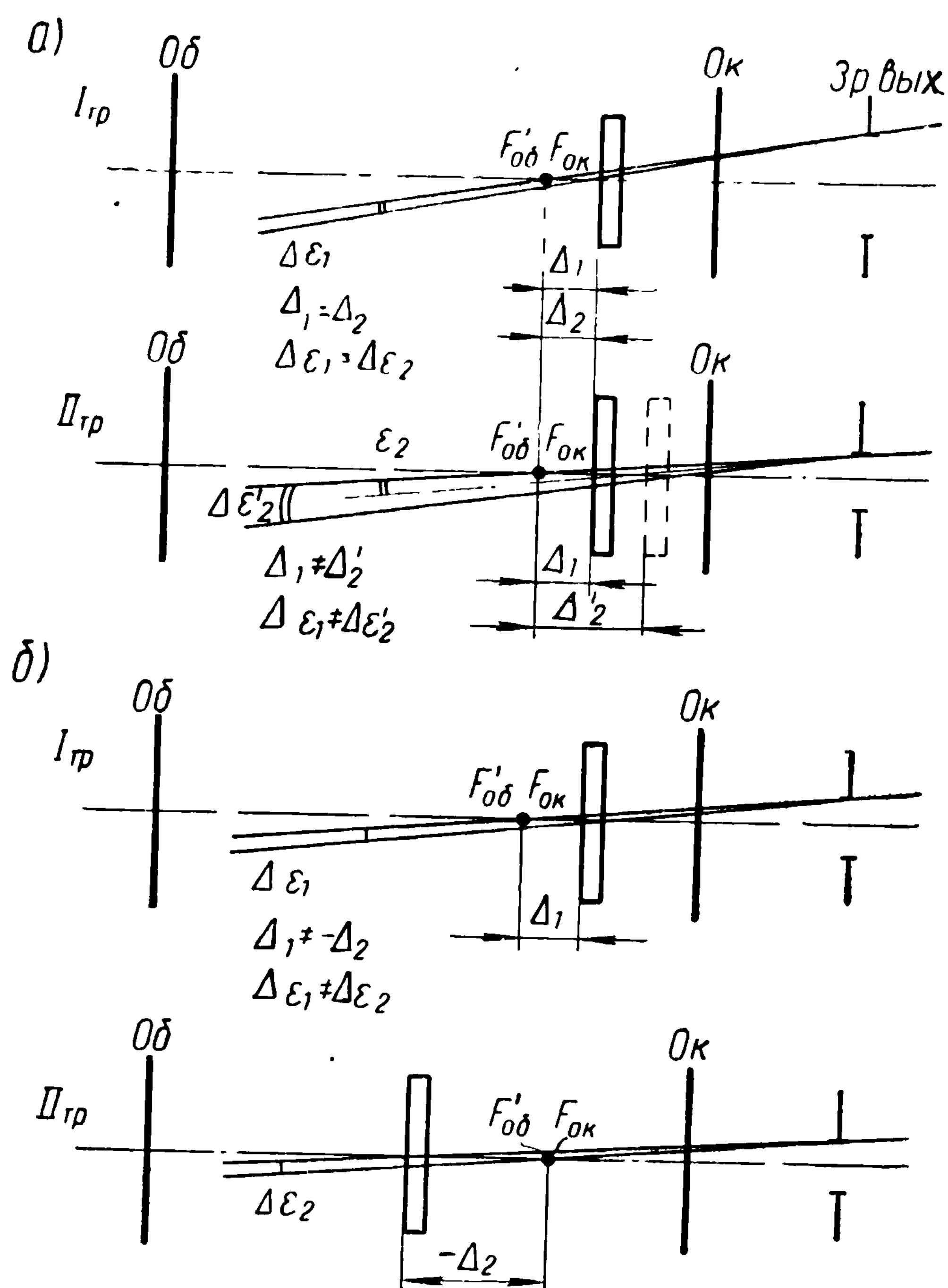


Рис. 48

Неравенство параллаксов трубок

Из рис. 48 видно, что параллакс в обеих трубках может быть различным и иметь: 1) одинаковое значение по величине и знаку (рис. 48, *а*; $\Delta_1=\Delta_2$); 2) одинаковое значение по знаку, но разное по величине (рис. 48, *а*; $\Delta_1\neq\Delta_2'$); 3) различные значения по величине и знаку (рис. 48, *б*).

В первом случае параллакс обеих трубок дает постоянную ошибку в измерении дистанции при условии, что диаметры зрачков глаз равны диаметрам зрачков выхода трубок, оси окуляров параллельны и центры зрачков выхода находятся на визирных осях трубок. Во всех других случаях различие параллаксов приводит к непостоянной ошибке измерения дистанции.

Разность наклонов изображений трубок

Неравенство наклонов изображения предмета в обеих трубках затрудняет сведение левого и правого изображений в одно, особенно если наклоны направлены в разные стороны. В бинокулярных дальномерах разность наклонов изображений приводит к ошибке совмещения измерительных марок с целью, т. е. к понижению точности измерения расстояния до цели. Причины наклона изображения и меры к его устранению указаны в § 7. Обычно алгебраическая разность углов наклона изображений в трубках не должна превышать по абсолютному значению 30′.

Контроль параллельности оптических осей

Принцип контроля параллельности оптических осей трубок выясняется из схемы, приведенной на рис. 49, *а*.

Установим испытуемый бинокулярный прибор *II* так, чтобы ось одной из его трубок (на рис. 49, *а* правая) была параллельна оси контрольного коллиматора *I*. В этом случае изображение *K′* центра *K* сетки коллиматора совпадает с центром *C* сетки этой трубки. Если ось второй трубки наклонена к оси первой трубки на угол α, то изображение *K′* сместится относительно центра сетки этой трубки на величину Δ, которая может служить мерой допустимого угла α. Практически такой метод контроля не всегда возможен, так как в некоторых бинокулярных приборах (например, в биноклях Галилея) сетки отсутствуют, а в призматических сетка установлена только в одной трубке. Поэтому схема контроля, представленная на рис. 49, *а*, усложняется введением дополнительного бинокуляра *III*, оси трубок которого параллельны друг другу. Одна из трубок имеет сетку в виде простого перекрестия; сетка другой трубки имеет поле допуска на непараллельность осей (рис. 49, *б*).

При контроле прибора *II* сначала устанавливают бинокуляр *III*, чтобы оси его трубок были параллельны оси коллиматора *I*. В этом случае изображение *K′* будет, очевидно, совпадать с центрами *C* сеток бинокуляра *III*. Далее, устанавливают испытуемый прибор *II* так, чтобы изображение *K′* по-прежнему совпадало с центром *C* креста сетки правой трубки прибора *III*, не имеющей допускового поля. Если оси трубок прибора *II* параллельны в пределах допуска, то изображение *K′* в трубке,

имеющей сетку с полем допуска (левая трубка), не будет выходить за его пределы (рис. 49, *б*). Обычно все три прибора устанавливаются на оптической скамье. Приборы *II* и *III* крепятся в державках, позволяющих регулировать положение трубок в нужных направлениях.

Если база *B* испытуемого прибора переменна, то непараллельность осей его трубок проверяют, зафиксировав положение

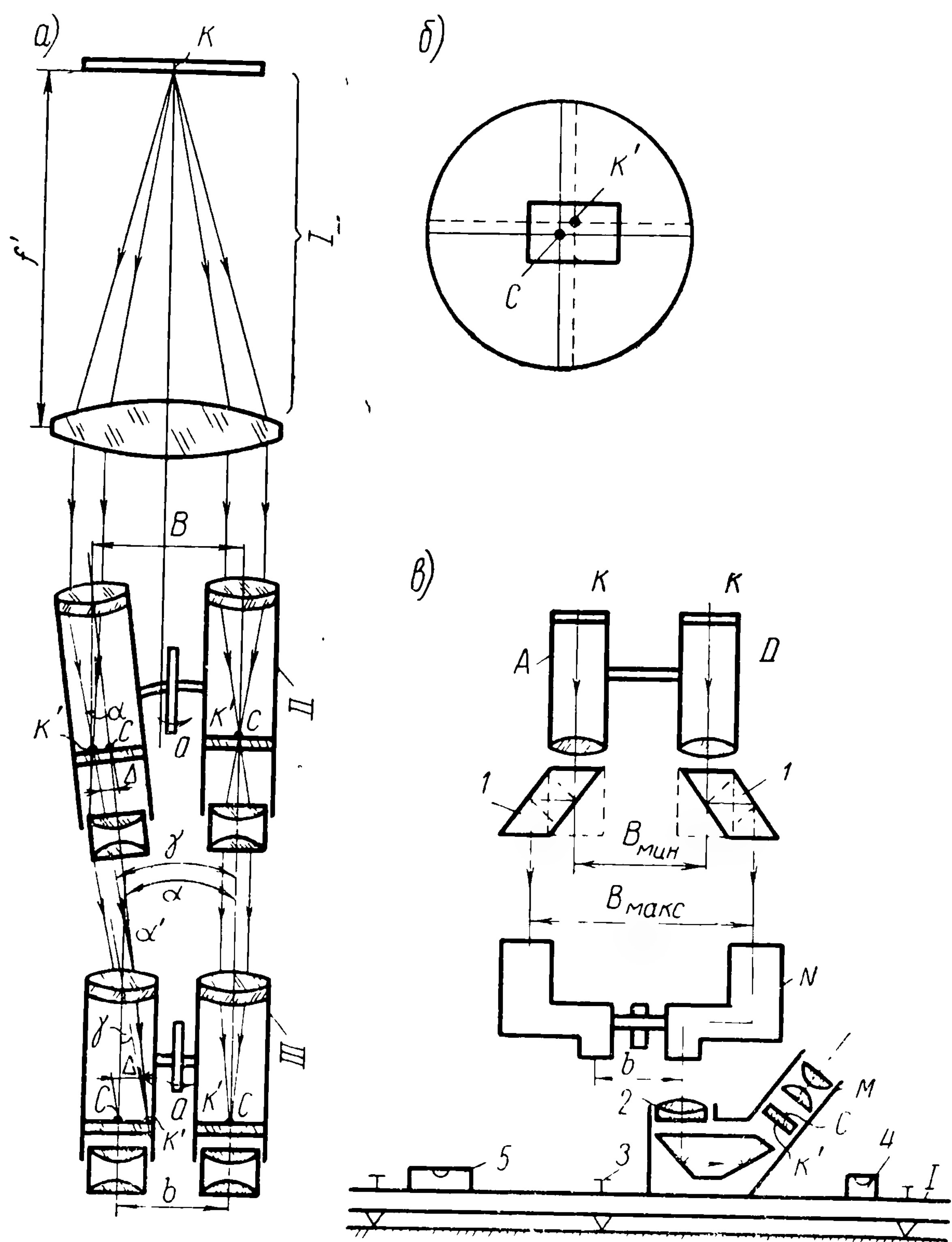


Рис. 49

трубки, где сетка имеет простое перекрестие, а другую трубку поворачивают по стрелке *а* вокруг оси шарнира прибора; при этом поворачивается и соответствующая трубка контрольного бинокуляра *III*.

Из схемы рис. 49, *а* видно, что объектив коллиматора *I* должен быть достаточно большим. Чтобы избежать этого, заменяют коллиматор *I* на два — *A* и *D* (рис. 49, *в*), оси которых строго параллельны. Для того чтобы можно было вести контроль при различных базах *B* испытуемых приборов или расстояниях *b* между осями глаз, коллиматоры *A* и *D* снабжаются

ромбическими призмами *1*, вращающимися так, как показано на рис. 45, *д*.

Контроль параллельности испытуемого прибора производится так же, как и при одном коллиматоре *I* (рис. 49, *а*).

Коллиматоры *A* и *D* должны быть спарены и должны позволять изменять положение своих осей при их юстировке на параллельность. Это достигается обычно эксцентриковыми оправами объективов или механизмами смещения сеток (см. рис. 22).

Параллельность осей коллиматоров можно проверить по коллиматору *I* (рис. 49, *а*) или по бинокулярному прибору, оси трубок которого параллельны с большой точностью. Удобно также использовать зрительную трубу и пентапризму, перемещающуюся по стрелке *б*, как это показано на рис. 19, § 9. Если оси коллиматоров *I* и *II* параллельны, то изображения перекрестий *K'* сеток коллиматоров будут совмещены с центром *K* сетки зрительной трубы при установке пентапризмы перед объективами обоих коллиматоров. В ином случае одно из изображений перекрестий сместится на величину Δ (точка *C*).

Если коллиматоры *A* и *D* (рис. 49, *в*) установлены вертикально, то бинокуляр *III* (рис. 49, *а*) может быть заменен монокуляром *M* (рис. 49, *в*). В этой установке коллиматоры монтируются вертикально относительно опорной точно отгоризонтированной плиты *1*. Это достигается с помощью монокуляра *M*, отъюстированного так, что ось его объектива *2* нормальна поверхности плиты *1*, по которой может скользить монокуляр. Подведя объектив монокуляра под объективы коллиматоров *A* и *D*, добиваются путем перемещения их сеток или объективов совмещения изображений *K'* перекрестий их сеток с перекрестием *C* сетки монокуляра. Далее устанавливают испытуемый бинокль *N* так, чтобы объектив монокуляра находился под окуляром одной из трубок бинокля, объектив которой в свою очередь находился бы под одним из коллиматоров. Добившись поворотами бинокля в державке совпадения изображения *K'* сетки коллиматора с перекрестием монокуляра, передвигают его под объектив другой трубки бинокля и оценивают смещение *K'* относительно центра *C* сетки монокуляра (рис. 49, *б*).

Горизонтальность плиты обеспечивается винтами *3* при помощи уровней *4* и *5*.

Легко понять, что оси коллиматоров могут быть и не вертикальны в пространстве, а просто параллельны друг другу и оси объектива монокуляра. Удобно вести контроль параллельности осей при помощи трех коллиматоров *I, II, III* (рис. 50, *а*), оптические оси которых параллельны.

Испытуемый бинокль *IV* закрепляется в державке (на рисунке не показана) так, чтобы, установив одну из его трубок *A* соосно одному из коллиматоров, можно было привести вторую трубку *C* под второй и третий коллиматоры при минимальной

и максимальной базах бинокля. Установка трубок бинокля производится, как и на рис. 49, *в*, при помощи монокуляра *М* и плиты *I*.

При изменении базы *В* прибора в большом диапазоне, например при контроле параллельности осей стереотрубы в сведенном и разведенном состояниях, приходится иметь контрольную установку из четырех коллиматоров: двух — для минимальной базы и двух — для максимальной. Оси коллиматоров должны быть конечно строго параллельны друг другу.

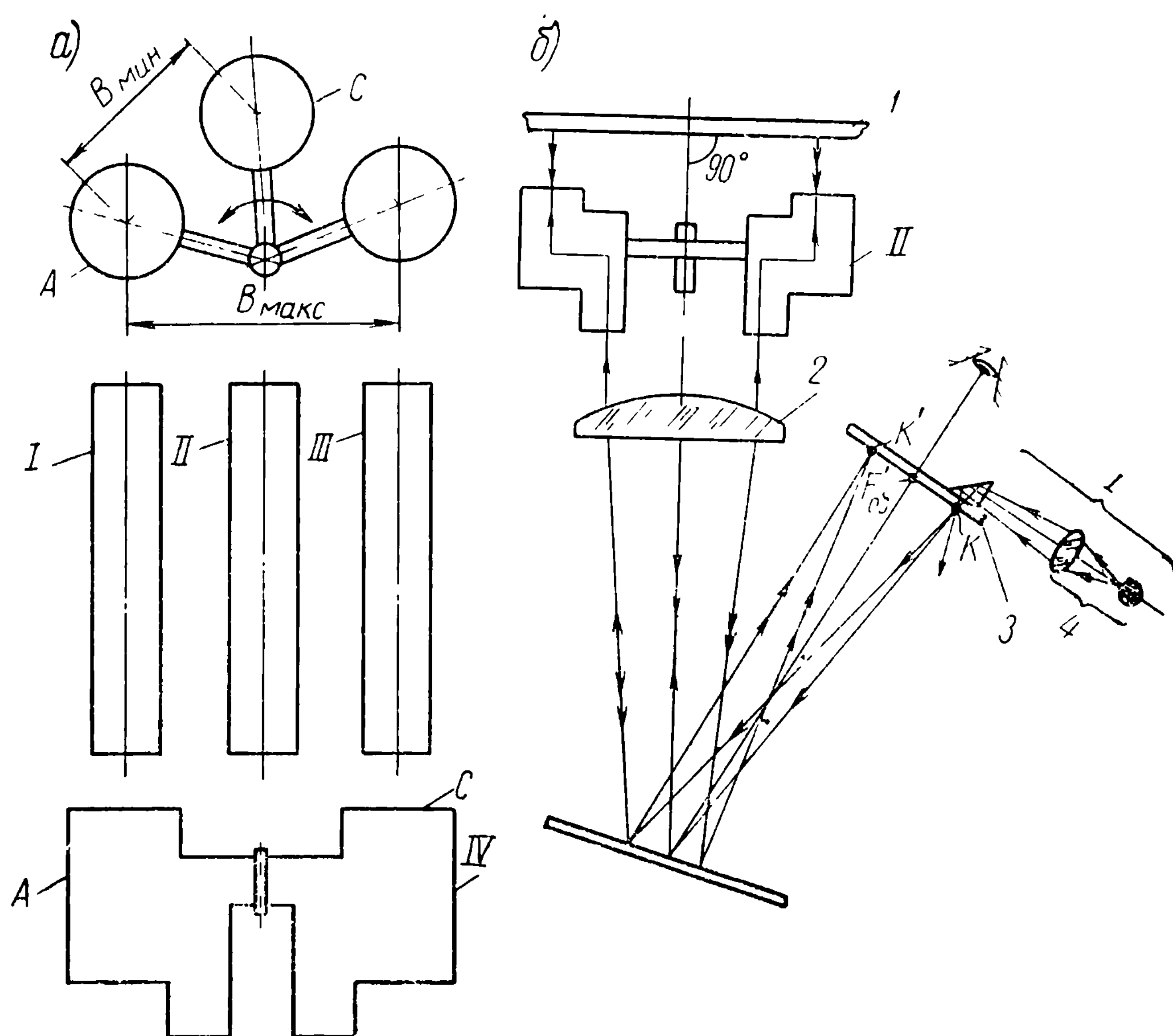


Рис. 50

Для контроля биноклей весьма удобна автоколлимационная установка А. Н. Захарьевского, схема которой дана на рис. 50, *б*. В этом случае коллиматоры и бинокуляр рассмотренных выше установок заменены зеркалом *1* и автоколлимационным окуляром *I* (подробнее см. § 9, рис. 18). Марка *К* находится в задней фокальной плоскости объектива *2* в плоскости сетки *3*. Лучи, идущие от осветительной системы *4*, проходят через марку и направляются объективом *2* параллельными пучками в окуляры испытуемого бинокля *II*. Пройдя трубки бинокля, лучи отражаются от зеркала *1* и попадают снова в бинокль, давая в плоскости сетки *3* два изображения *К'* марки *К*. Поверхность сетки делается матовой, образуя экран. Если оси бинокля параллельны, то оба изображения марки сольются в одно. В ином случае они разойдутся на некоторую величину, которая может

быть оценена или по шкале, или по допусковому полю, нанесенному на сетке *3*.

Прибор Захарьевского удобен в эксплуатации, но несколько велик по габаритам.

Юстировка оптических осей бинокулярных приборов

В телескопических системах оптические оси юстируют на параллельность друг другу. Наклон оси трубок достигается поперечным смещением одной из деталей, влияющих на положение визирной оси (см. § 10, рис. 22). В большинстве случаев используют поворот объектива в эксцентриковой оправе. Однако используют также смещение и наклон призм (см. рис. 23). Например, при юстировке призматического бинокля (см. подробно § 48) сначала перемещают призмы (предварительная юстировка) и окончательно регулируют положение оси эксцентриком объектива, так как юстировка одним объективом может оказаться недостаточной.

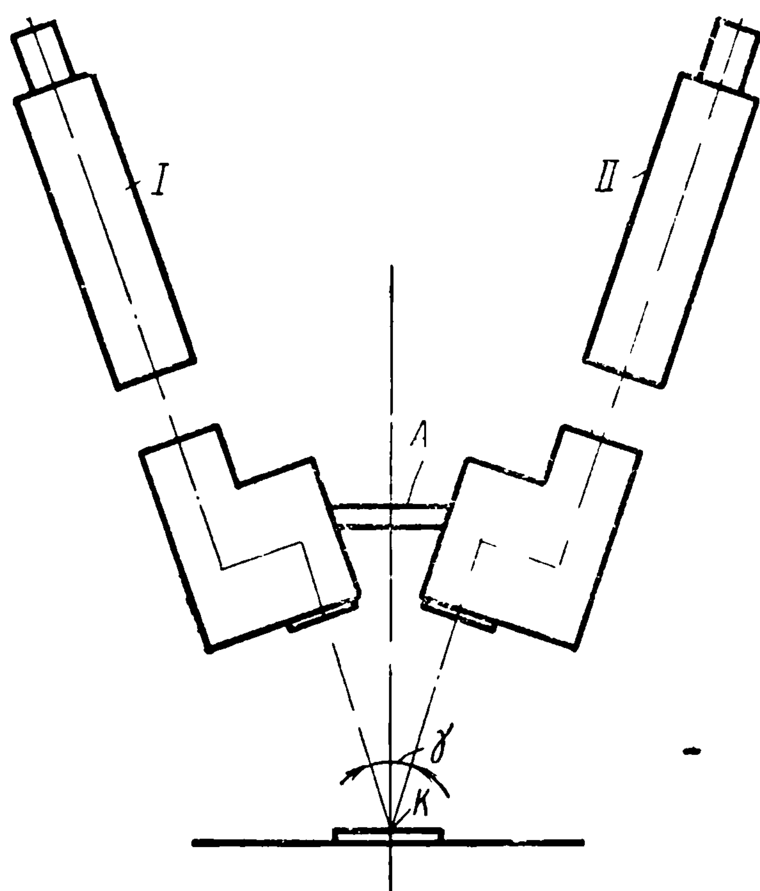


Рис. 51

В бинокулярных микроскопах с параллельными оптическими осями трубок (см. рис. 45, *ж*) приборы юстируются на параллельность осей, так же, как и телескопические бинокулярные приборы. Микроскопы, оптические оси трубок которых сходятся под определенным углом γ (см. рис. 45, *е*), юстируются для обеспечения этого угла.

Юстировка выполняется на установке, схематично представленной на рис. 51. Установка имеет две зрительные трубы *I* и *II*, оси которых пересекаются под заданным углом γ в плоскости объекта (сетка *К*). Одна из трубок имеет обычное перекрестие; другая — сетку с полем допуска на отклонение осей. Юстируемый микроскоп *А* закрепляется на кронштейне между трубками и объектом *К*. Установив одну из трубок микроскопа соосно с одной из зрительных труб, например *I*, наблюдают в другую смещение изображения *К′* креста *К* сетки в плоскости объекта относительно поля допуска. Юстировка осей выполняется указанными выше средствами.

Юстировка трубок с параллельными оптическими осями описана выше.

§ 15. Светопропускание и светорассеяние оптической системы прибора; чистота поля зрения

При прохождении света через оптическую систему прибора часть его теряется на поглощение в оптических деталях и светорассеяние. Второй вид потерь обусловлен многократным отражением света при преломлении лучей рабочими поверхностями оптических деталей, а также рассеянием лучей дефектами деталей (выколки, царапины, точки и т. д.) и загрязнениями их нерабочих поверхностей и оправ.

Светорассеяние снижает не только пропускание света, но и контрастность изображения; оно определяется по формуле

$$K = \frac{B_ф - B_п}{B_ф - \Delta B}, \qquad (125)$$

где $B_ф$ — яркость фона, на котором рассматривается предмет;
$B_п$ — яркость предмета;
ΔB — увеличение яркости фона за счет светорассеяния.

Снижение контрастности приводит при фотографировании аналогично действию светочувствительного слоя с пониженной разрешающей силой к снижению разрешающей силы объектива, а в визуальных системах — к ухудшению видимости объекта.

Светопотери увеличиваются с увеличением числа преломляющих поверхностей и длины хода лучей в оптических деталях. Поэтому наибольшими светопотерями обладают трубы с большим числом оборачивающих систем и с призмами, например перископы, дальномеры, призматические бинокли.

Способность прибора пропускать световую энергию определяется коэффициентом светопропускания τ, который представляет собой отношение величины светового потока F_τ, прошедшего через прибор, к величине потока F, входящего в прибор, т. е.

$$\tau = \frac{F_\tau}{F}. \qquad (126)$$

Коэффициент светопропускания определяется на специальных фотоэлектрических фотометрах. Схема одного из них представлена на рис. 52. Основными узлами фотометра являются фотометрический полый шар *3*, внутренние стенки которого матированы, и фотоэлемент *9*. По оси шара на его поверхности закреплен объектив *4*, в фокусе которого имеется отверстие, куда могут вставляться пробки *2* с различными отверстиями или окрашенными в разные цвета. Испытуемый прибор *6* помещается между диафрагмами *5* и *7*.

Для определения коэффициента пропускания τ прибора устанавливается пробка *2* с отверстием $3 \div 5$ *мм*, освещаемым источником света *1*.

Пучки лучей, выходящие из объектива шара, ограничиваются диафрагмой 5 до диаметра зрачка входа испытуемого прибора. Фокусирующая линза 8 направляет выходящие из прибора лучи на фотоэлемент, установленный на таком расстоянии, чтобы диаметр светового пучка, падающего на фотоэлемент, был равен диаметру пучка, входящего в объектив прибора. Взяв отсчет A_n по шкале гальванометра фотоэлемента (на рисунке не показана), оценивают величину прошедшего через прибор

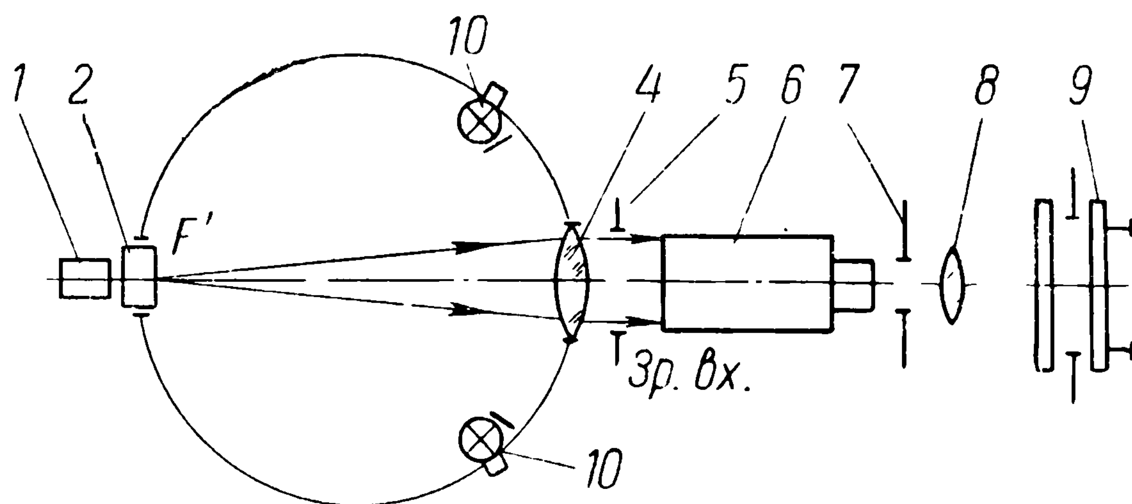


Рис. 52

потока F_τ; установив фотоэлемент между диафрагмой 5 и прибором, берут отсчет $A_в$, т. е. оценивают поток F, входящий в испытуемый прибор.

Повторив измерения несколько раз, берут средние арифметические значения потоков F_τ и F и определяют τ по формуле (126).

При определении коэффициента светорассеяния в отверстие шара вставляется пробка 2, окрашенная в белый цвет. Фотоэлемент помещается так, чтобы его светочувствительная поверхность была полностью покрыта светом, идущим от фокусирующей линзы. Осветив шар с помощью лампочек 10, берут отсчет $A_б$ по шкале гальванометра; он будет соответствовать яркости пучка $B_ф+\Delta B$, где ΔB — яркость, возникшая за счет рассеянного света.

Затем устанавливают пробку, окрашенную в черный цвет. За счет светорассеяния изображение пробки на фотоэлементе будет не черным, а несколько осветленным. Взятый при этом отсчет $A_г$ будет соответствовать яркости ΔB рассеянного света.

Коэффициент светорассеяния

$$P = \frac{A_г}{A_б} = \frac{\Delta B}{B_ф + \Delta B}, \tag{127}$$

а контраст изображения

$$K_и = 1 - \frac{A_г}{A_б}. \tag{128}$$

Уменьшение светорассеяния достигается просветлением преломляющих поверхностей оптических деталей и покрытием их оправ и нерабочих поверхностей черной светопоглощающей краской; иногда на внутренних поверхностях труб приборов нарезают канавки, гасящие рассеянный свет (см., например, рис. 127).

Чистота поля зрения оценивается количеством и размерами загрязнений, попадающих в поле. К загрязнителям поверхностей относятся пыль, ворсинки, оставшиеся после чистки деталей, подтеки смазки, частички осыпавшейся замазки, налеты на поверхностях оптических деталей. Грязь на поверхностях сетки и призм, расположенных близко от сетки, а также дефекты их поверхностей, помимо уменьшения светопропускания, непосредственно мешают наблюдению изображения объекта в пределах поля зрения.

Контроль чистоты оптических деталей производится со стороны окуляра и объектива в рассеянном свете при помощи молочного или матового стекла, освещаемого электролампой.

При наблюдении в окуляр глаз должен располагаться в зрачке выхода прибора. Если диаметр выходного зрачка больше зрачка глаза (диаметр глаза в среднем 2 *мм*), то для выявления загрязнений следует перемещать зрачок глаза по диаметру зрачка выхода прибора. Поскольку это трудно осуществить, то диафрагмируют зрачок входа путем перемещения специальной диафрагмы перед объективом в пределах всей площади зрачка. В этом случае размеры выходного зрачка будут меняться и перед зрачком глаза будут постепенно проходить все участки поля зрения. Соринки на поверхностях сетки, а также поверхностных крайних линз объектива и окуляра обнаруживаются легко, особенно грязь на сетке, видимая в увеличенном виде через окуляр. Обнаружение грязи на поверхностях других оптических деталей требует аккомодации глаз, иногда значительной, что возможно при наличии опыта наблюдателя.

Для облегчения контроля чистоты поверхностей таких деталей можно пользоваться трубкой, позволяющей фокусировать глаза последовательно на резкое изображение всех проверяемых поверхностей деталей оптической системы испытуемого прибора.

Контроль чистоты оптической системы проводится после окончательной сборки прибора, а также после испытаний прибора на герметичность, тряску (или удар), низкие и высокие температуры.

После первого испытания на поверхностях оптических деталей может обнаружиться пыль или капельки воды, после второго могут появиться пылинки, отделившиеся от оправ деталей, а также кусочки высохшей замазки. После нагрева прибора разжиженная смазка может пройти на поверхность оптических де-

талей в виде подтеков. После замораживания прибора проверяется прозрачность его оптической системы с учетом запотевания стекол.

§ 16. Правильность действия отсчетных механизмов

Многие приборы имеют механизмы, связанные с движущимися оптическими деталями (призмами, зеркалами, клиньями, линзами), для наводки прибора на объект под определенным углом визирования и для измерения расстояния до объекта или его величины.

Совместное действие оптических деталей и механизмов должно обеспечивать определенную и стабильную точность отсчета по соответствующим шкалам в условиях эксплуатации прибора (тряска, толчки или удары, низкие или высокие температуры, влажность, пыль).

Измерение визирных углов до 40° может быть произведено при помощи широкоугольного коллиматора (рис. 53, *а*), имеющего точную шкалу. Испытуемый прибор *II* устанавливается перед коллиматором *I* так, чтобы оси обоих приборов были параллельны или взаимно перпендикулярны, как это показано на рис. 53, *а*. Далее при помощи механизма *4* устанавливают визирное зеркало (или призму) *2* под определенным углом по шкале *3* механизма. При этом изображение *C′* перекрестия *C* сетки прибора должно совпасть с определенным делением шкалы *AB* сетки *1* коллиматора. Для оценки величины неточности наводки цена деления шкалы сетки коллиматора должна быть меньше цены делений шкалы *3* отсчетного механизма.

Для контроля углов визирования в пределах более 90° применяются гониометры, которые служат и для контроля «увода» визирной оси (см. § 11, рис. 38 и 40). Основными узлами таких приборов являются лимб со шкалой для отсчета углов визирования и коллиматор, перекрестие сетки которого является точкой наведения визирной оси испытуемого прибора.

В зависимости от того, в какой плоскости контролируются углы визирования, лимб гониометра располагается в вертикальной (см. рис. 38) или горизонтальной (см. рис. 40) плоскости.

Размеры шкалы лимба определяются диапазоном проверяемых углов. На рис. 38 показан лимб гониометра, предназначенного для контроля углов в пределах $0 \div 180°$. На рис. 40 представлен лимб для контроля углов в пределах 360°.

В зависимости от конструкции гониометра коллиматор при контроле углов визирования либо вращается, следуя за визирным лучом (по стрелке *а* на рис. 38), либо неподвижен (в этом

случае на рис. 40 вращается лимб с испытуемым прибором по стрелке *б*).

Для повышения точности отсчета шкáлы лимбов снабжаются нониусами и шкаловыми микроскопами. Использование двух микроскопов *7* (см. рис. 40) позволяет компенсировать погрешность от эксцентриситета лимба.

В е л и ч и н а л ю ф т а (м е р т в ы й х о д) измерительных механизмов проверяется различными способами, например при контроле червячной пары при помощи теодолита или многогранной призмы. В первом случае (рис. 53, *б*) проверка выполняется

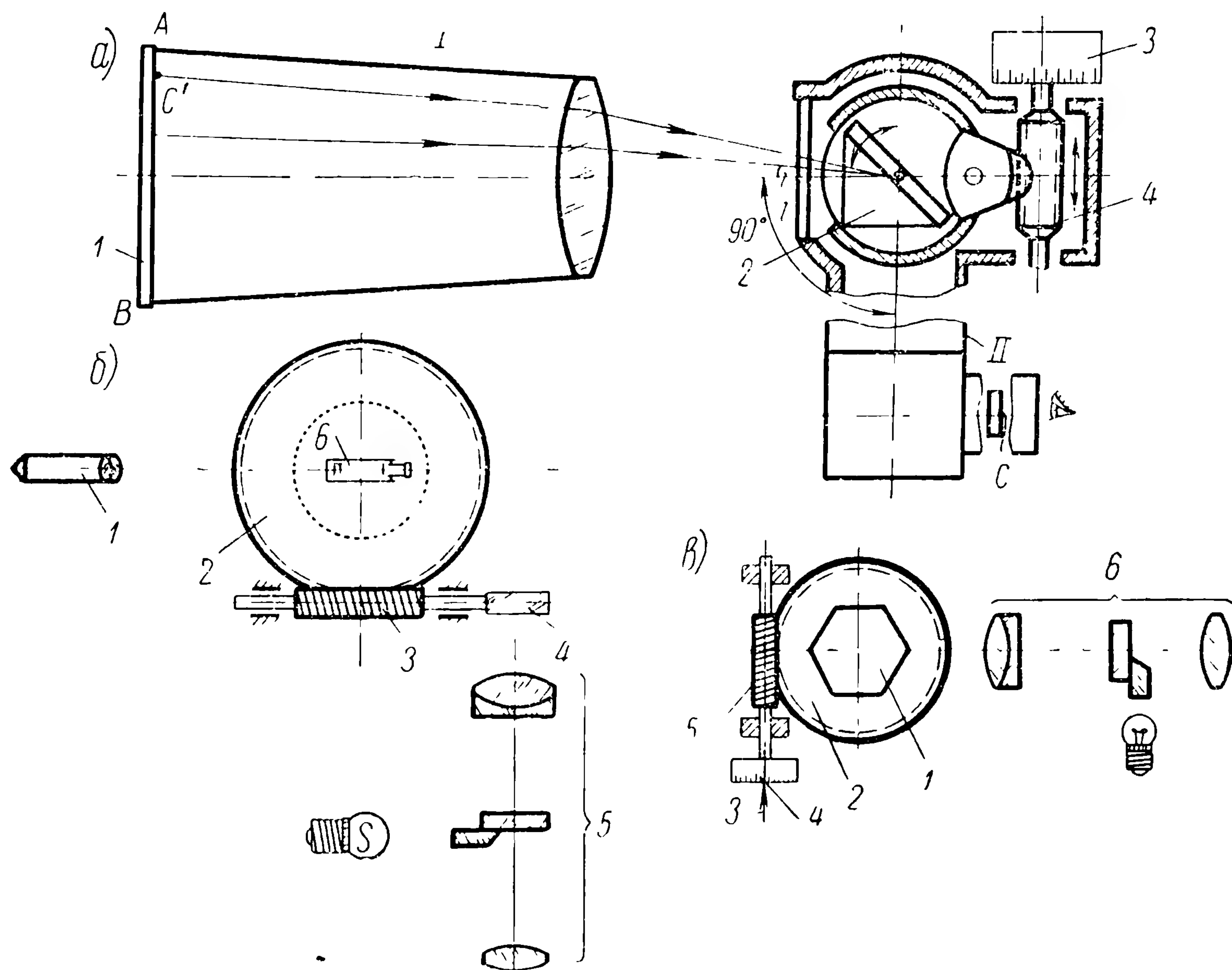


Рис. 53

следующим образом. Зеркало *4* устанавливается на червяке *3* и ориентируется так, чтобы автоколлимационная трубка *5* была установлена по нему в нулевое положение. Червячное колесо *2* при этом выставляется отвесно, а на колесо при помощи приспособления (на рисунке не показано) укрепляется теодолит *6*. Трубка теодолита устанавливается по коллиматору *1*, при этом берется отсчет по лимбу теодолита. Повернув колесо на целое число оборотов, повторяют установку трубки *5* и трубы теодолита по коллиматору и берут новый отсчет по лимбу. Разность между фактическим углом поворота теодолита и углом поворота колеса *2* является погрешностью механизма на данный угол поворота. Разность показаний, взятых с прямого и обрат-

ного ходов в пределах поворота колеса на 360°, дает значения мертвого хода в зацеплении.

Тех же результатов можно добиться при помощи точно изготовленной призмы *1* (точность углов порядка 5″), ось которой совмещена с осью вращения колеса *2* (рис. 53, *в*). Поворотами червяка *5* добиваются нулевого положения трубки *6* от граней призмы; погрешность механизма определяется по шкале *4*, связанной с червяком, относительно неподвижно закрепленного индекса *3*. Проверка мертвого хода во всей цепи механизмов прибора при повороте визирной призмы *2* (рис. 53, *а*) и измерение визирных углов могут производиться по шкале *1* сетки коллиматора *I* путем проверки шкалы *3* прибора в прямых и обратных отсчетах и наведения изображения *C′* сетки *C* прибора на соответствующие деления сетки коллиматора (рис. 53, *а*).

§ 17. Постоянство свойств прибора при воздействии на него различных факторов

Оптические приборы работают в основном в двух различных эксплуатационных условиях — цеховых, или лабораторных, и полевых.

Приборы, применяемые в помещении, находятся всегда в одних и тех же условиях, практически в стационарном состоянии. Типичными для этих условий являются незначительные перепады температуры воздуха и его влажности, отсутствие толчков, ударов, длительной тряски, увлажнения и запыления. В таких условиях работает огромное число различных контрольно-измерительных приборов, например микроскопы, оптиметры, гониометры, интерферометры, поляриметры и др.

В несравненно более трудных условиях эксплуатируются оптические приборы вне помещения: геодезические, наблюдательные, прицелы, дальномеры, перископы и др. Использование приборов в поле требует от конструкторов и сборщиков обеспечения ряда дополнительных свойств приборов: 1) герметичности прибора по отношению к влаге и пыли; 2) стабильности работы механизмов и надежности крепления оптических деталей в условиях сотрясений, толчков и ударов, высоких и низких температур; 3) чистоты рабочих поверхностей оптических деталей в тех же условиях.

Названные свойства прибора обеспечиваются рядом сборочных работ, содержание которых описывается в гл. III. После окончания сборки эти свойства прибора контролируются на специальных установках. Приборы в соответствии с техническими условиями подвергаются мочке, запылению, тряске, отстрелу, вибрациям, действию низких и высоких температур. После проведения определенного испытания контролируются соответству-

ющие свойства прибора. Например, после дождевания и запыления прибора проверяется чистота оптики, нарушаемая капельками воды или пылинками. После замораживания прибора проверяют плавность хода механизмов (способность смазок выдерживать температуру) и чистоту оптики, нарушаемую кусочками замазки, затвердевшей и частично рассыпавшейся в приборе. После нагрева прибора проверяется работа механизмов и чистота оптики, нарушаемая каплями разжиженных замазок и смазок. После тряски, отстрела или вибраций прибора проверяют центрировку оптической системы, параллакс, наклон изображения, разрешающую силу и качество изображения, точность угловых отсчетов, герметичность прибора.

Глава III

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ СБОРОЧНЫЕ РАБОТЫ

§ 18. Общие сведения

В сборочном процессе можно выделить ряд типовых вспомогательных работ, выполняемых на различных операциях сборки: 1) смазку механических деталей; 2) промывку механических деталей; 3) чистку оптических деталей; 4) герметизацию прибора. Первые два вида работ относятся к предварительной механической сборке, последние два — к окончательной сборке.

§ 19. Смазка механических деталей

Смазку применяют главным образом для трущихся подвижных деталей в целях уменьшения трения и повышения плавности хода, а также для предохранения их от коррозии. Для борьбы с коррозией смазывают и некоторые неподвижные детали. Внутренние поверхности труб, содержащих оптику, смазывают для удержания на них осыпки герметизирующих замазок и пыли.

Большое значение имеют смазки для трущихся деталей в приборах, работающих в полевых условиях. В этих условиях смазки должны обеспечивать свои свойства в периоде температур от —45°С до +50°С, не растекаясь при повышенных и не замерзая при минусовых температурах. В этих случаях применяют в основном консистентные смазки, состоящие главным образом из вазелинового масла и церезина. Первый компонент понижает температуру замерзания (замерзает при —75°С), а второй повышает температуру плавления (плавится при +88°С) смазки, поэтому температурные условия работы прибора определяют соотношения этих компонентов в смазке. В небольших количествах в смазку вводят озокерит с температурой плавления не ниже 84°С. Озокерит сообщает смазке вязкость и маслянистость.

Степень консистенции смазки зависит от величины зазора между движущимися деталями: чем меньше зазор, тем меньше консистентность смазки. При больших нагрузках на движущиеся детали применяют смазку малой консистенции с добавлением графита ($\approx$20%).

Механизмы измерительных точных приборов, работающих в комнатных условиях, смазывают жидкими смазками, например вазелиновым маслом с добавлением небольшого количества копытного масла.

§ 20. Промывка механических деталей

Промывка заключается в удалении с поверхностей деталей всевозможных загрязнений, антикоррозийных покрытий (в случае необходимости), следов охлаждающих эмульсий в процессе обработки и др. Обычно промываются детали, непосредственно соприкасающиеся с оптическими деталями (например, их оправы), детали после окончания пригоночных работ, детали шарикоподшипников. Промывка ведется бензином. Для предварительной промывки используется бензин второго сорта или полученный после отстоя. Окончательная промывка выполняется авиационным бензином. Промывку деталей ведут металлическими ершиками и волосяными щетками. Для ускорения промывки применяют ультразвуковые установки. Промытые детали сушат струей сжатого воздуха. Детали промывают последовательно в трех ваннах. Сушка промытых деталей выполняется путем их нагрева.

§ 21. Чистка оптических деталей

Путем этой операции удаляют с рабочих поверхностей оптических деталей всевозможные загрязнения, налеты и пятна. Все указанные явления уменьшают светопропускание оптической системы. Налеты и пятна портят поверхность деталей и могут привести их в полную негодность. Чистка является весьма ответственным процессом в сборке оптических приборов и должна проводиться после каждой сборочной операции, выполняемой с оптической деталью. Вследствие этого большинство оптических деталей чистится несколько раз.

К загрязнениям относят пыль, осыпку, мазки. П ы л ь — твердые частицы различных веществ (в основном песок), осевшие на поверхность деталей. О с ы п к о й называют твердые частицы разрушившегося лака или замазки, попавшие на поверхность деталей, а также продукты разрушения оксидных пленок металла, частицы мельчайшей стружки и т. д. М а з к и — следы пальцев, капли смазки или замазки.

Налеты и пятна представляют собой коррозию полированных поверхностей оптических деталей.

Н а л е т ы бывают капельно-нежировые, жировые и биологические.

Капельно-нежировые налеты представляют собой мельчайшие капли концентрированных растворов щелочей, возникаю-

щих в результате гидролиза при воздействии атмосферной влаги на стекло. В зависимости от влажности и температуры окружающей среды налет может высыхать и вновь возникать.

Жировой налет — это мельчайшие капельки жиров на поверхности стекла. Под влиянием влаги налет может увеличиваться.

Биологический налет является плесенью в порах поверхности стекла. Присутствие в приборе органических веществ (картона, пробки, бумаги) способствует разрастанию плесени. Выделяемые плесенью продукты имеют кислую реакцию, поэтому стекло под плесенью слегка разрушается.

Пятна представляют собой местные изменения состава стекла; они возникают при воздействии на стекло воды или растворов кислот. В проходящем свете пятна прозрачны, но при наблюдении под некоторым углом к поверхности кажутся окрашенными в радужные цвета.

И налеты и пятна увеличиваются при повышении влажности и температуры. Существуют стекла налетоопасные и устойчивые. Сильно выраженные налеты и пятна могут быть удалены только перешлифовкой и полировкой поверхности детали, что довольно сложно. Соблюдение чистоты поверхностей деталей при хранении и сборке уменьшает возможность возникновения налетов и пятен.

При чистке важно не занести загрязнений с пальцев рук и приспособлений, применяемых при чистке. И пальцы и приспособления должны быть тщательно обезжирены растворителями. Нерабочие поверхности деталей также предварительно обезжириваются. При чистке и сборке оптические детали держат обезжиренными пинцетами.

Линзы в оправах чистят обычно в цанговых патронах, закрепленных на шпинделе электродвигателя или редко волчка, вращаемого от руки. Вата наматывается в виде тампона на деревянную палочку и смачивается затем растворителем. При вращении детали проводят тампоном по поверхности стекла от центра к оправе, быстро отрывая его от нее. Движение от оправы к детали может привести к перенесению загрязнения с оправы на деталь. Обычно проводят три движения, каждый раз меняя тампон. Вращение детали ускоряет процесс чистки, однако при большой скорости поверхность деталей электризуется и к ним легко пристают пылинки. Поэтому скорость вращения не должна быть большой (обычно не более 200 *об/мин* шпинделя).

Процесс чистки состоит из двух операций: растворения жиров, остатков наклеечных смол, клеев, высокообразных веществ, образовавшихся на поверхности детали, и удаления с нее твердых нерастворимых частиц. Для первой операции применяют органические растворители; для второй — протирочные материалы.

Органическими растворителями являются спирт гидролизный этиловый, петролейный эфир, смесь петролейного эфира с этиловым спиртом (эфир 85÷90% и спирт 15÷10% объемных частей), смесь этилового ректифицированного спирта с эфиром (спирт 85÷75%, эфир 15÷25 объемных частей).

Обычно обезжиривание выполняется двумя растворителями— этиловым спиртом (первый растворитель) и петролейным эфиром или его смесью со спиртом (вторые растворители). Для обезжиривания инструмента, используемого при чистке оптики, применяют смесь спирта с эфиром.

К протирочным материалам относятся вата гигроскопическая, фланелевые белые салфетки, кисточки (беличьи). Все материалы должны быть обезжирены, например в вате не должно быть более 0,1% жира.

Вата применяется для непосредственной чистки поверхности, салфетки — для ее протирки. Кисточки служат для удаления с поверхности отдельных загрязнений, пылинок, волосков и пр. Для удаления пыли кисточки продуваются с помощью резиновой груши.

Призмы чистят в руках. Наиболее ответственна чистка сеток, так как их рабочая поверхность находится в плоскости изображения и рассматривается через окуляр с увеличением. Обычно детали прополаскивают в растворителях в двух-трех ванночках и высушивают салфетками. Наиболее трудно удалить пылинки, снимаемые с поверхности деталей кисточкой при сборке.

Вычищенные поверхности контролируются визуально в проходящем свете с применением специального осветителя с экраном, дающим рассеянный свет. Весьма часто применяют лупы с увеличением $6 \div 8^{x}$. Все вычищенные детали должны тщательно храниться в коробках в обезжиренной папиросной бумаге.

Чистка оптических деталей должна проводиться в отдельном помещении, обеспеченном нагнетательно-вытяжной вентиляцией, с соблюдением максимальной чистоты. Потолок и стены должны быть окрашены светлой масляной краской и протираться влажной тряпкой. Рабочие должны быть одеты в чистые белые халаты и иметь на ногах туфли, в которых запрещается выходить из помещения чистки.

§ 22. Герметизация приборов

Все приборы, подвергающиеся в процессе эксплуатации воздействию различных атмосферных условий — влаги, пыли, внешней атмосферы и других, должны уплотняться, чтобы указанные реагенты не попадали внутрь прибора и не нарушали его работу. Особенно вредны влага, вызывающая коррозию металлических и оптических деталей, и пыль, ухудшающая прозрачность оптической системы прибора.

Герметизация прибора осуществляется с помощью прокладок и замазок.

Прокладки применяются для герметизации неподвижных деталей. Материал прокладок должен хорошо заполнять пространство между деталями, быть упругим при значительном давлении, сохранять свои свойства при низких и высоких температурах. Для прокладок используют специальные сорта картона, пресс-шпан и различные сорта термостойкой и морозоустойчивой резины.

Замазки должны обладать следующими свойствами:

1) эластичностью и отсутствием твердых включений;

2) не растекаться при температуре +50°С и не разрушаться и отделяться при температуре —40°С;

3) хорошей прилипаемостью к герметизируемым деталям (металлам и стеклу);

4) не менять своих свойств со временем;

5) нейтральностью к деталям;

6) химической устойчивостью к атмосферным реагентам;

7) легкой растворимостью при удалении.

Замазки представляют собой пластические массы, состоящие из слоя твердых углеводов, минеральных масел и некоторых других компонентов.

Основными компонентами замазок являются канифоль ($35\div47\%$), озокерит ($\approx50\%$), церезин ($20\div60\%$). Применяют также минеральное масло, битум, вазелин. Обычно замазки имеют черный цвет (цвет озокерита). Цветные замазки окрашиваются введением в их состав эмалевых цветных красок. Замазки различают также по степени твердости (вязкости) и методу нанесения — в холодном и нагретом состояниях.

Для герметизации больших поверхностей применяют замазку мягкую черную или мягкую цветную (ЗМЧ или ЗМЦ), наносимую холодным способом.

Герметизация поверхности небольших размеров для зазоров от 0,5 до 1 *мм* выполняется замазкой средней твердости — черной или цветной (ЗСЧ или ЗСЦ) в холодном и горячем состояниях. Для зазоров менее 0,5 *мм* между шаброванными и притертыми поверхностями применяют замазку контактную (ЗК) в холодном состоянии, близкую к консистентной смазке. Стыки металлических деталей с оптическими заполняют мягкой замазкой.

Герметизация подвижных деталей штоков, валиков, рукояток осуществляется в известной степени выбором посадки соединения. При небольших перепадах атмосферного давления в зазоре до 0,005 *мм* и смазке герметичность обеспечивается практически без специального уплотнения. При повышенных перепадах атмосферного давления применяют сальники, представляющие собой фетровые или суконные прокладки, пропитанные смазкой;

применяется также асбестовый шнур, смазанный графитом. Чем больше перепад давления, тем больше должна быть поверхность сальника и тем сильнее он должен прижиматься к движущейся детали, сохраняя возможность этого движения в нужной степени.

Герметичность приборов проверяется мочкой (дождеванием) и нагнетанием в прибор воздуха. В последнем случае герметичность характеризуется падением созданного в приборе давления в течение некоторого времени.

Определение незагерметизированных мест производится при повышенном давлении внутри прибора, поверхность которого покрывается мыльной водой. В местах утечки воздуха возникают пузыри. Давление при испытании — порядка 2000 *кн/м*^{2} (150 *мм рт. ст.*). Время испытания — 3÷6 *мин.*

Глава IV

СБОРКА И ЮСТИРОВКА ТИПОВЫХ УЗЛОВ ПРИБОРОВ

§ 23. Основные задачи сборки узлов

При механической сборке этот процесс должен обеспечить правильное взаимное положение и необходимое взаимодействие деталей, их чистоту и необходимые покрытия (например, смазки).

При оптической сборке узлов достигается: 1) правильность положения оптической детали в оправе в соответствии с чертежом (например, крон наружу при сборке линз, см. эскиз к табл. 7, плоскость штрихов сетки наружу, см. рис. 54); 2) заданное свойство узла (например, точность центрировки при сборке линз в оправах или допустимый угол наклона изображения при сборке призм); 3) надежность крепления детали, чтобы она не проворачивалась и не смещалась в оправе; 4) отсутствие натяжений в оптических деталях; 5) чистота рабочих (полированных) поверхностей оптических деталей; 6) чистота оправ; 7) герметичность узла (если требуется).

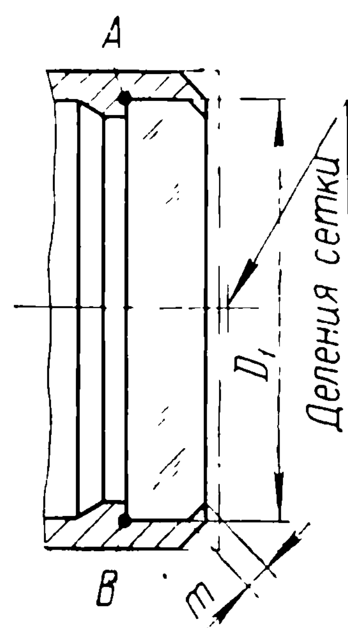


Рис. 54

Сборка узлов завершается контролем их свойств в соответствии с техническими условиями.

§ 24. Механическая сборка узлов

Общие сведения

Как уже указывалось в § 1, механическая сборка представляет собой процесс соединения механических деталей с определенной точностью. Этот процесс сопровождается промывкой деталей и покрытием трущихся поверхностей соответствующей смазкой (см. § 19).

При массовом производстве все детали взаимозаменяемы и никаких пригонок и доделок их в процессе сборки не производится; сборка в этом случае наиболее проста. При других организационных формах сборочного процесса применяют пригонку

и притирку некоторых металлических деталей, совместное их сверление, комплектовку и некоторые другие работы.

Поскольку обработка и сборка механических деталей подробно рассматриваются в курсе «Спецтехнология приборостроения», то в данной книге в качестве примера механической сборки рассматривается только сборка одного из характерных узлов оптических приборов при мелкосерийном и серийном их производстве. При этом читатель может получить представление о некоторых типичных производственных приемах этой стадии сборочного процесса, а также порядке заполнения операционных сборочных карт (см. § 59).

Сборка узла механизма зеркала

Назначение узла (рисунок к табл. 1) заключается в повороте зеркала *2* на углы $\pm\alpha$ по отношению к горизонту, начиная от некоторого исходного угла α_0. Зеркало *2* закрепляется при помощи щечек *1* на оси *16*, соединенной с сектором *17*. Наклоны зеркала осуществляются путем поворота рукоятки *11*, вращающей червячный вал *14*, находящийся в зацеплении с сектором *17*. Установка заданного угла зеркала производится по шкале *8*, связанной с валом *14*, относительно неподвижного индекса *12*. Фактически устанавливаются углы i наклона визирной оси AB (см. подробно § 11), соответствующие определенным углам наклона зеркала. Положение делений шкалы *8* при их установке относительно индекса *12* фиксируется защелкой *9*, входящей в паз шкалы под действием пружины *10*.

Из рисунка видно, что конструкция узла требует выполнения пяти сборок возрастающей сложности.

Сборка V, представленная в табл. 1, заключается в окончательной установке и юстировке зеркала с обеспечением нужных угловых отсчетов. Эта сборка является оптической и окончательной и в данном параграфе, посвященном механической сборке, не рассматривается. Остальные операции составляют механическую сборку узла, которая может считаться предварительной.

Как видно из табл. 1, в сборку V входят сборки IV и III, а также детали $1 \div 12$. В сборку IV (табл. 5) входят только одиночные детали *13*, *14*, *15* и конический стопор. Сборка III (табл. 4) состоит из двух сборок II и I. В сборку II (табл. 3) входят детали *16* и *17* и конический штифт, а в сборку I (табл. 2) — детали *18* и *19*.

Простейшая сборка — сборка I (табл. 2), содержанием которой является запрессовка втулок *19* в корпус *18*. С поверхностей корпуса *18*, соприкасающихся со втулками *19*, предварительно удаляется антикоррозийный лак. Чтобы увеличить плотность соединения втулок с корпусами без ужесточения

класса посадки, втулки запрессовываются на широко применяемой смеси сурика с олифой. При контроле проверяется надежность посадки втулок *19*.

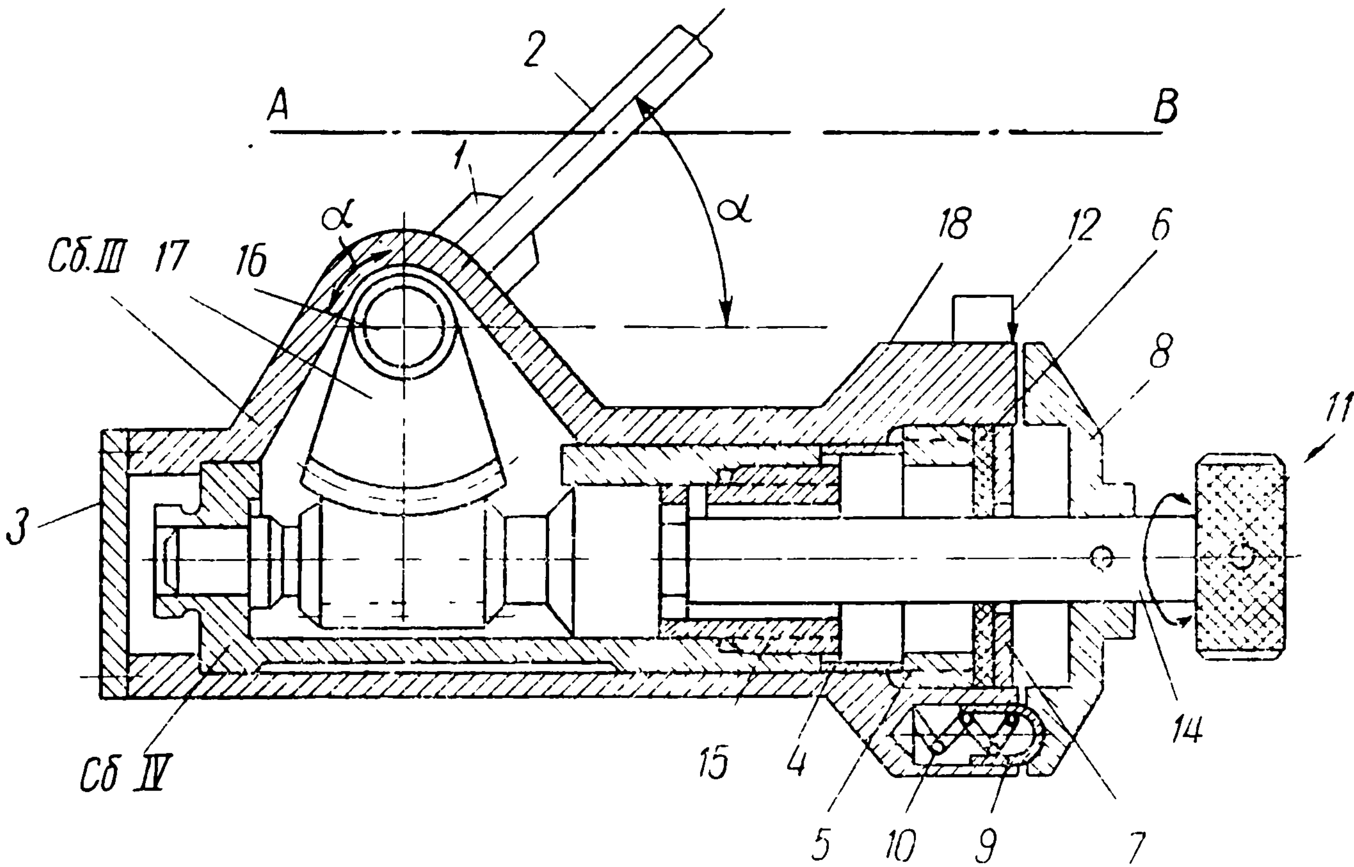
Операция сборки II (табл. 3) достаточно характерна для этапа механической предварительной сборки. К таким опера-

Таблица 1

	Сборка	V	Лист	1
	Наименование сборки			
	Механизм зеркала			

Цех	Сборочный	Участок	Окончательная сборка	Операции		Всего	операций	
							листов	5

Входят в сборку	№ сборок	IV	III										
	№ деталей	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*
	Количество	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1



циям относятся, например, снятие фаски 0,3×45° дет. *17*, необходимой для введения в сектор *17* вала *16*; выбор наиболее «полного» конца дет. *16* для закрепления ее в секторе *17* и отметка этого конца для дальнейшей сборки. Так как боковые поверхности сектора *17* обработаны грубо, то для уменьшения возможности трения одной из них о торец втулки *19* (табл. 2)

в сборке II необходимо ставить сектор *17* более тщательно обработанной стороной в направление втулки *19*, что и указано на эскизе к табл. 3. Характерной операцией механической предсборки является также совместное сверление отверстия в секторе и оси под конический штифт 2×10.

Характерными являются и операции сборки III (табл. 4) по развертке втулок *19* (табл. 2) до диаметра 6,97 и подбор валов *16* сборки II (табл. 3) в пределах допускаемой качки.

Весьма типичны и операции притирки торцовой и цилиндрической поверхностей червяка *14* к соответствующим поверхностям подпятника *13* и торцовой поверхности гайки *15*, прижимающей червяк в направлении его оси к подпятнику *13* (табл. 5, сборка IV). Помимо притирки червяка, применяется развертывание отверстия под червяк разжимными развертками или набором разверток.

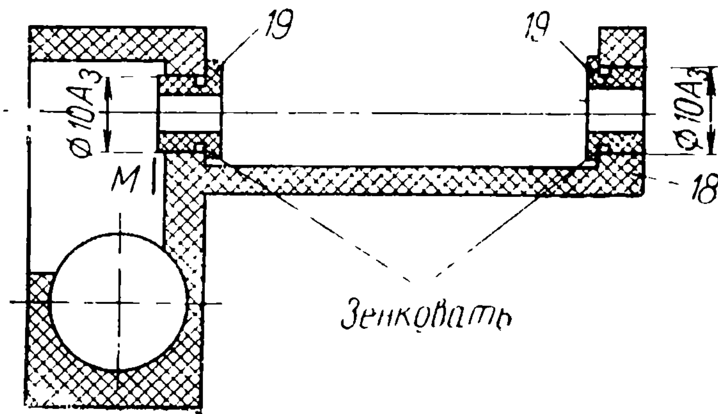
Важными характерными операциями механической предсборки являются взаимная пригонка сектора *17* сборки II и червяка *14* сборки IV при выполнении сборки V (табл. 1). В этом случае собираются вместе сборки II и IV, причем последняя фиксируется в корпусе *18* упорным кольцом *4* при помощи гай-

Таблица 2

	Сборка	I	Лист	5
	Наименование сборки			
	Корпус со втулками			

Цех	Сборочный	Участок	Механическая предварительная сборка	Операции	1, 2	Всего	операций	2
							листов	1

Входят в сборку	№ сборок		
	№ деталей	*18*	*19*
	Количество	1	2

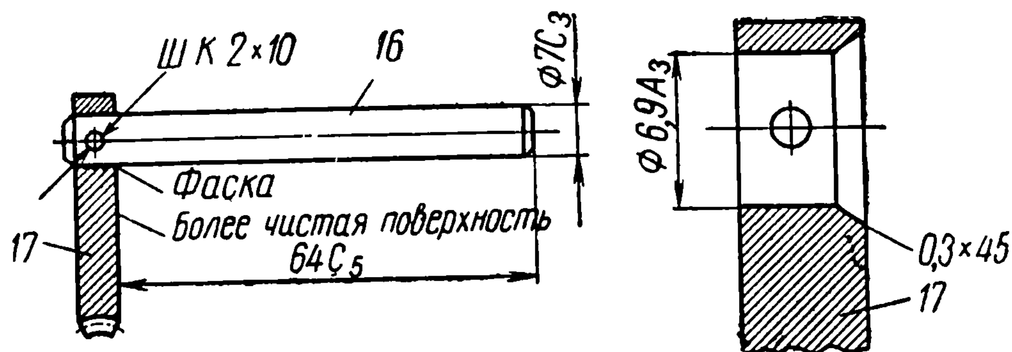


№ опер.	№ перехода	Наименование перехода	Шифр оборудования	Шифр приспособления	Инструмент		Вспом. матер.	Время	
					реж.	мерит.		основное	вспомогательное
1	1	Снять подтеки лака по $\varnothing 10A_3$ в корпусе дет. *18*	Верстак	Вороток	Развертка $\varnothing 10A_3$				
	2	Снять лак с торцов корпуса *18* (под втулки)		Вороток	Зенковка				
2	1	Запрессовать в корпус *18* втулки дет. *19* на сурике	Ручной эксц. пресс	Оправка, пуансон, кисть			Шеллачный сурик, натур. олифа		

Контроль надежности посадки втулок *19*

Таблица 3

						Сборка	II	Лист	4
						Наименование сборки			
						Сектор с осью			
Цех	Сборочный	Участок	Механическая предварит. сборка	Операции	1, 2, 3	Всего	операций	3	
							листов	1	
Входят в сборку	№ сборок								
	№ деталей	*16*	*17*						
	Количество	1	1						



Примечание. Наибольшая допустимая разность диаметров дет. *16* — 0,01 *мм*.

№ опер.	№ перехода	Наименование переходов	Шифр оборудования	Шифр приспособления	Инструмент реж.	Инструмент мерит.	Вспом. матер.	Время основное	Время вспомогательное
1	1	Снять фаску у сектора дет. *17* по Ø6,9A_3	Верстак	Вороток № 3	Развертка Ø7A_3				
	2	Установить конец вала дет. *16* в секторе *17* с бóльшим диаметром, заметить конец			Шабер	Микрометр			
2	1	Запрессовать дет. *16* концом с бóльшим диаметром в сектор *17*	Ручной эксц. пресс.	Оправка, подставка					
3	1	Сверлить отверстие в оси и секторе	Сверлильный станок	Подставка	Сверло Ø1,9		Смазка № 2		
	2	Развернуть отверстие в дет. *16* и *17* под конический штифт: Ш. К. 2×10. Подобрать и запрессовать штифт			Развертка коническая Ø2				

Контроль прочности соединения сектора и оси.

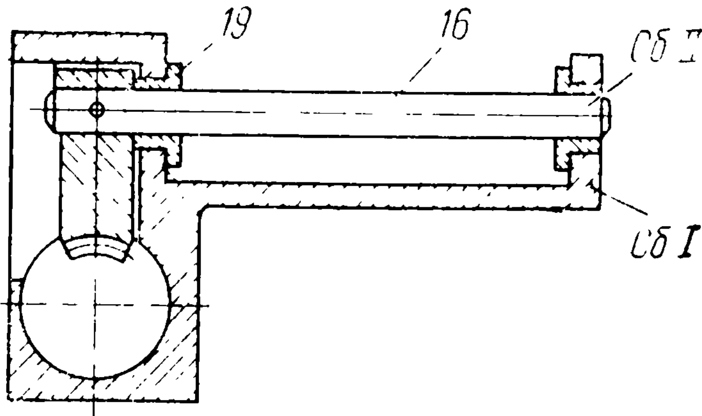
ки *5*. Червячная пара притирается до плавного хода без скачков и заеданий так, чтобы следы притирки проходили по среднему диаметру червячной пары; при этом притертая нитка червяка отмечается риской. Подрезкой торца *М* втулки *19* сборки I (табл. 2) обеспечивается взаимное правильное положение червячной пары. Глубина зацепления червяка регулируется поворотом подпятника *13* сборки IV в корпусе *18* вследствие того, что оси червяка *14* и цилиндрической поверхности подпятника *13* не совмещены (см. сечение по *АА*, табл. 5, сборка IV). Осевой люфт червяка может выбираться поджатием пружинящей гайки *15*.

После пригонки сборки отмечаются (маркируются) какой-либо меткой, чтобы в дальнейшем не перепутать их с другими аналогичными сборками.

Дальнейшие операции предсборки проводят в общих чертах следующим образом. Сборки разбираются, детали промываются в бензине и просушиваются. В соответствии с маркировкой узлы собираются на смазке и окончательно регулируется ход червяч-

Таблица 4

					Сборка	III	Лист	3
					Наименование сборки			
					Корпус с осью			
Цех	Сборочный	Участок	Механическая предварительная сборка	Операции	1, 2	Всего	операций	2
							листов	1
Входят в сборку	№ сборок	II	I					
	№ деталей							
	Количество	1	1					



№ операции	№ перехода	Наименование переходов	Шифр оборудования	Шифр приспособления	Инструмент реж.	Инструмент мерит.	Вспом. материал	Время основное	Время вспомогат.
1	1	Замерить диаметр валов *16* сб. II и сгруппировать их по размерам				Микрометр			
2	1	Развернуть отверстия втулок дет. *19* сб. I по диаметру вала *16* в группе	Токарный станок с центр. в задн. бабке	Зажимн. цанга ∅7	Комплект разверток		Смазка № 2		
	2	Подобрать вал *16* сб. II к втулкам *19*. Наибольшая допускаемая качка на конце вала 0,02÷÷0,03 *мм*	Верстак	Вороток № 3, стальной молоток, латунный стержень ∅ 6 × 80					
	3	Вставить во втулки *19* вал *16* сб. II на смазке. Отрегулировать вращение вала до плавного движения от пальца руки		Деревян. молоток, кисть			Смазка № 2		

Контроль плавности вращения вала *16* во втулках *19*

ного зацепления в пределах нужного угла поворота сектора. Окончательно собирают узел с дет. *3*, *6*, *7*. Собранный узел контролируется на точность передаточного числа и мертвый ход.

В табл. 1÷5 даны операционные карты, содержащие эскизы и описание операций соответствующих сборок данного узла.

При механической сборке узлов весьма часто решаются задачи по установке и проверке горизонтальности и вертикальности базовых плоскостей некоторых деталей, а также контроля правильности различных направляющих, например хода поперечных и продольных направляющих инструментальных микроскопов.

Для установки плоских поверхностей перпендикулярно линии визирования удобны приставные зрительные трубы *А*

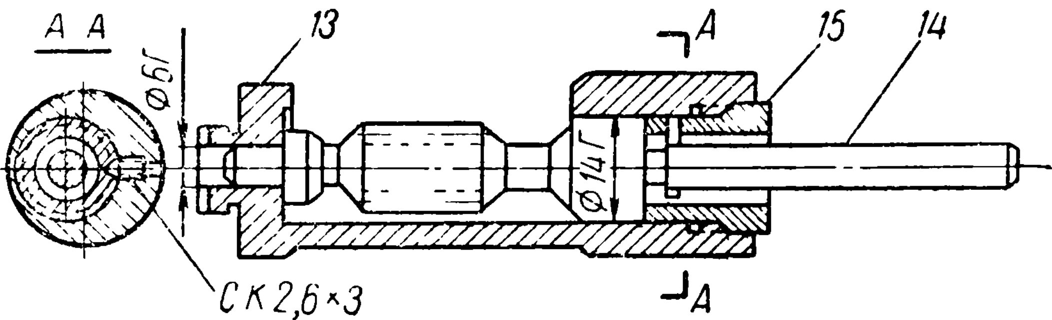
(рис. 55, *а* и *б*). Эти трубы имеют стальной закаленный корпус, наружная поверхность которого и торец *М* фланца отшлифованы с большой точностью (перпендикулярность плоскости *М* к оси цилиндра выдерживается с точностью 15″; овальность и конусность по цилиндрической внешней поверхности — в пределах до 2 *мкм*). Визирная линия трубки установлена параллельно оси цилиндра трубы с точностью до 10″. Так как плоскость *М* фланца перпендикулярна геометрической оси трубки, то, следовательно, она нормальна и визирной оси. Такая трубка может иметь и автоколлимационный окуляр.

На рис. 55, *а* показано применение приставной трубки для установки плиты *1* нормально оси цилиндра *2*; для достижения этого на цилиндр *2* устанавливают переходную призму *3* и цилиндрическую зрительную трубку *4*. Трубка *4* приставляется к плите *1* в месте, имеющем отверстие *В*. Наклоняя плиту с трубкой, добиваются совпадения изображения перекрестия зрительной трубки с перекрестием приставной трубки; в этом положении ось цилиндра *2* будет нормальна плоскости плиты *1*.

На рис. 55, *б* показана аналогичная установка визирной оси коллиматора *I* нормально торцу цилиндра *II*.

Таблица 5

					Сборка	IV	Лист	2
					Наименование сборки			
					Червяк в подшипнике			
Цех	Сборочный	Участок	Механич. предварительная сборка	Операции	1, 2, 3, 4	Всего	операций	4
							листов	1
Входят в сборку	№ сборок							
	№ деталей	13	11	15				
	Количество	1	1	1				



№ операции	№ перехода	Наименование переходов	Шифр оборудования	Шифр приспособления	Инструмент		Вспомогательный материал	Время	
					реж.	мерит.		основное	вспомогат.
1	1	Притереть червяк дет. *14* по ∅ 6 Г и ∅ 14 Г до тугого хода в подшипнике дет. *13*	Токар. станок	Зажимн. цанга ∅ 6, притир			Абразивная паста		
	2	Притереть совместно дет. *14* и *13* по ∅ 6 и торцу ∅ 6 до плавного тугого хода		Оправка			Абразивная паста		
2	1	Протереть от пасты дет. *14* и *13*	Верстак				Текст. концы		
	2	Собрать на смазке дет. *14* и *13*					Смазка № 2		
3	1	Положить на торец подпятника дет. *13* абразивную пасту					Абразивная паста		
	2	Поджать дет. *14* в дет. *13* деталью *15*		Ключ					
	3	Притереть торец дет. *15* к торцу дет. *14* до плавного хода		Оправка			Абразивная паста		
4	1	Промыть все детали узла и просушить	Верстак	Ванночка, ерш			Бензин		
	2	Собрать узел согласно эскизу, отрегулировать ход	Верстак	Ключ			Смазка № 2		
	3	Застопорить дет. *15* стопором С. К. 2,6×3	Верстак	Отвертка					
		Контроль плавности вращения червяка *14* в дет. *13*							

На рис. 55, *в* дана схема контроля прямолинейности направляющей *I* при помощи автоколлимационной трубки *II*. Зеркало *1* монтируется с помощью угольника *3* на столике *4* направляющей; с помощью винтов *2* зеркало регулируется так, чтобы ось

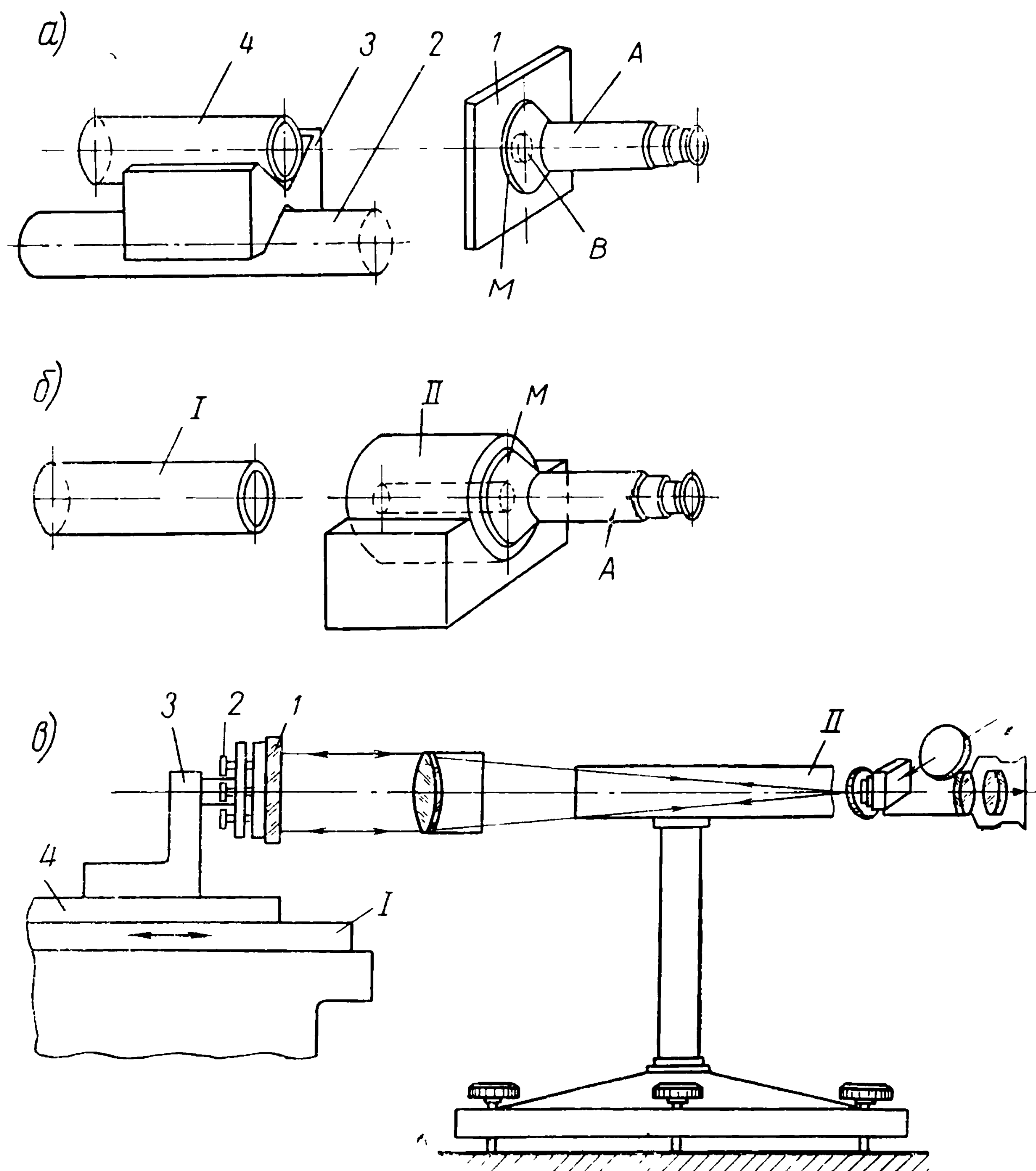


Рис. 55

трубки *II* была нормальна зеркалу. Перемещая столик с зеркалом, определяют по отклонению автоколлимационного изображения величину перекоса стола. Прямолинейность движения контролируется данным способом с точностью до $5 \div 10''$.

§ 25. Виды операций оптической сборки узлов

Оптическая сборка узлов заключается в соединении оптических деталей с механическими. Сборка ведется в следующей последовательности операций: 1) чистка оптических деталей;

2) закрепление оптических деталей в оправах с обеспечением определенных свойств узла; 3) чистка наружных поверхностей оптических деталей узла; 4) контроль свойств узла.

При сборке ответственных узлов и приборов все оптические детали, поступающие на сборку, тщательно проверяются по техническим условиям.

§ 26. Сборка в оправах линз, линзовых блоков и сеток («круглая» оптика)

Эти детали крепятся завальцовкой (иначе закаткой, или заворонкой), зажимным кольцом и приклеиванием. Основные требования к качеству сборки указаны в § 23.

При сборке объективов, окуляров и вообще систем, состоящих из нескольких компонентов с воздушными промежутками между ними, необходимо выдерживать ширину воздушных промежутков, чтобы обеспечить заднее фокусное расстояние всей системы f'_c, а также передний и задний отрезки — s_F и $s'_{F'}$.

Сборка завальцовкой (иначе закаткой, или заворонкой)

Этот способ крепления «круглых» оптических деталей обеспечивает неразъемное соединение их с оправой, при котором линза надежно и прочно фиксируется в оправе после центрировки, что важно для приборов, работающих в условиях сотрясений или вибраций. Однако при неудачной центрировке линзы в оправе улучшить центрировку после сборки уже невозможно. Это обстоятельство требует применения надежных методов центрировки линз в оправах и методов закатки, при которых центрировка линзы не ухудшается в процессе эксплуатации. Метод применяется для одиночных деталей или склеенных блоков с диаметром до 70 *мм.*

При данном способе крепления оправа детали растачивается изнутри так, чтобы деталь опиралась одной из своих поверхностей на торцовую поверхность AB оправы (рис. 56, *а*).

Внутренний диаметр оправы D_1 должен быть несколько больше диаметра D оптической детали для возможности ее перемещения при центрировке относительно оси оправы (рис. 56, *а* и *б*).

В зависимости от точности центрировки на диаметры линзы и сеток устанавливаются посадки второго, третьего и четвертого классов точности — скользящая, ходовая, легкоходовая и широкоходовая.

Глубина h проточки оправы должна обеспечить длину l буртика, позволяющую надежно прижать им оптическую деталь к торцовой поверхности AB оправы и выдержать световой (свободный) диаметр D_3 оптической детали в соответствии с размером на чертеже (рис. 56, *в*). Размеры h и l обычно обеспечи-

ваются в механическом цехе, после чего оправы подвергаются отделке. В сборочном цехе подготовляется буртик [проточка его резцом *С* (рис. 56, *б*), снятие грата и полировка наждачной бумагой].

Однако при сборке некоторых фотообъективов (см. § 32) посадочное место под линзу в оправе протачивается в сборочном

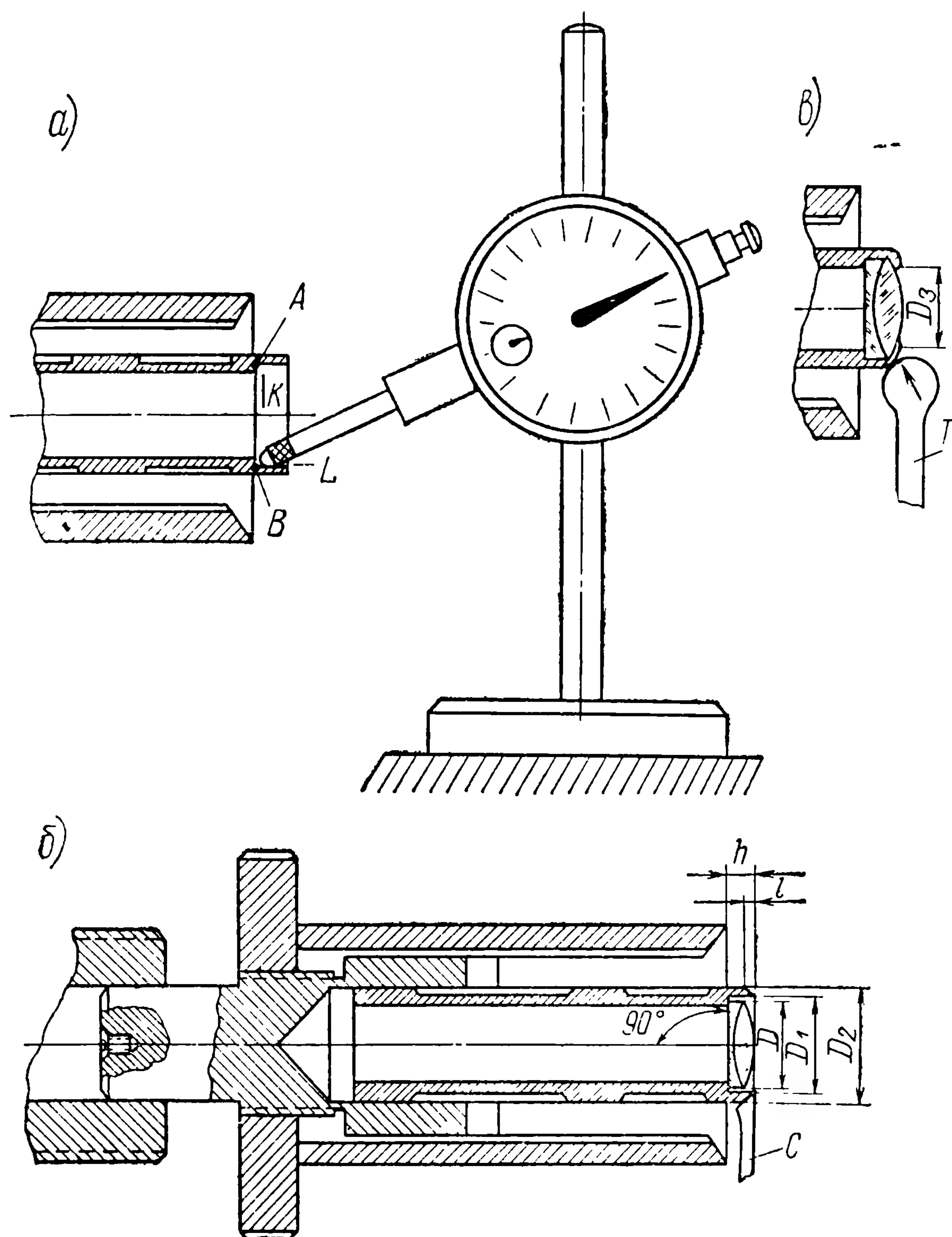


Рис. 56

цехе «по месту». Оправа линзы растачивается в оправках — патронах различного типа, закрепленных на хорошо выверенных шпинделях станков.

Для облегчения закатки буртик протачивается сверху несколько на конус до толщины стенки по краю от 0,05 до 0,1 *мм*.

Применяемые размеры буртика в зависимости от диаметра оптической детали приведены в табл. 6.

При сборке буртик оправы ложится на фаску *m* оптической детали (см. рис. 54). Так как весьма часто фаска имеет плоскую матовую поверхность, то в этом случае точность центрировки линзы в оправе несколько ниже, чем центрировка линз зажим-

ным кольцом (см. ниже), при котором линза фиксируется в оправе по полированной сферической поверхности.

Процесс завальцовки ведется или вручную на токарно-арматурных станках или с помощью специальных приспособлений.

На рис. 56, *б* дана схема сборки объектива лотаппарата в оправке цангового типа.

Таблица 6

Диаметр *D* оптической детали, *мм*	$D_2 - D_1$, *мм*	*l*, *мм*
До 10	От 0,3 до 0,5	От 0,3 до 0,4
Свыше 10 до 30		От 0,5 до 0,7
Свыше 30 до 50		От 1 до 1,2
Свыше 50 до 70		От 1,2 до 1,5

Биение торцовой поверхности *К* оправы и внутренней посадочной поверхности *L* проверяется с помощью индикатора (рис. 56, *а*) и не допускается обычно более 0,02÷0,03 *мм*.

Обезжирив внутренние поверхности оправы ватой, смоченной спирто-эфирной смесью, а иногда продув ее от пылинок, устанавливают в оправу оптическую деталь. При этом поверхность детали, обращенная к торцовой поверхности оправы, должна быть вычищена. Иногда, чтобы исключить выпадение детали из оправы при сборке, на поверхность детали, соприкасающейся с торцовой поверхностью оправы, наносится тонкий слой воска. Дальнейшая сборка компонента ведется в зависимости от метода его центрировки по отношению к оправе (см. § 10).

На рис. 56, *в* показана завальцовка объектива при центрировке его «по блику» вручную при помощи «полировальника» или «воронильца» *Т*. Поскольку после обработки буртика часть поверхности оправы становится блестящей, то для избежания появления вредных бликов наружная поверхность буртика покрывается фасочной эмалью при помощи кисточки.

Сборка сеток завальцовкой (см. рис. 54) производится аналогичным образом. Центрировка сетки обеспечивается обычно допуском на разность диаметров сетки и ее оправы. Необходимо правильно ориентировать по отношению к оправе поверхность с перекрестием или шкалой сетки.

В процессе завальцовки прижатие буртика к оптической детали не должно вызывать в ней натяжений. Они возникают обычно при ручной завальцовке. Более равномерное давление на буртик осуществляется при завальцовке линзы в приспособлениях. Одно из них представлено на рис. 73 и описано в § 32.

Если сборку необходимо герметизировать, то под буртик наносится слой уплотняющей замазки (см. § 22).

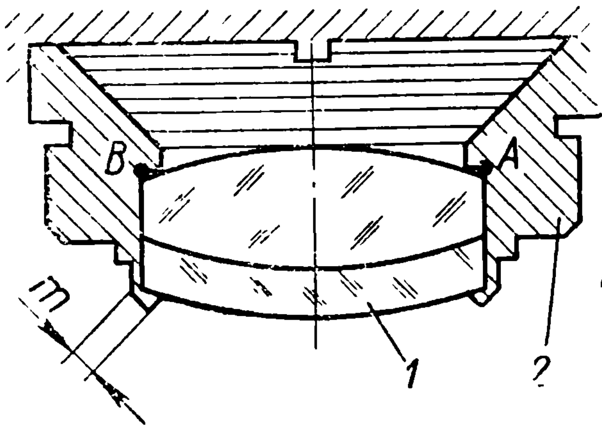
После сборки следует вычислить рабочие поверхности оптической детали и упаковать сборку в папиросную бумагу.

При контроле сборки завальцовкой проверяются прочность закрепления оптической детали в оправе (деталь не должна проворачиваться в оправе от руки), чистота проточки буртика и чистота полированных поверхностей оптических деталей (в соответствии с установленным классом чистоты на данную деталь), центрировка линзы относительно оправы [методом блика или по изображению точки (см. § 10)]; в ответственных случаях проверяются натяжения в линзе, вызванные ее закреплением.

В табл. 7 приведен пример оформления операционной карты на сборку объектива завальцовкой.

Таблица 7

					Сборка		Лист	
					Наименование сборки			
					Объектив в оправе			
Цех	Сборочный	Участок	Окончательная сборка	Операции	1, 2, 3	Всего	операций	3
							листов	1
Входят в сборку	№ сборок							
	№ деталей	1	2					
	Количество	1	1					



Сборка линз и сеток зажимным кольцом

Этот метод крепления применяется как для склеенных блоков и отдельных линз, так и для сложных оптических систем с воздушными промежутками между отдельными компонентами

№ операции	№ перехода	Наименование перехода	Шифр оборудования	Шифр приспособления	Инструмент режущий	Инструмент мерительный	Вспомогательный материал	Время основное	Время вспомогат.
1	1	Уплотнить оправу *2* объектива *1* водонепроницаемой замазкой					Водонепроницаемая замазка		
	2	Вставить объектив в оправу кроном внутрь		Верстак, цанга					
2	1	Завальцевать объектив в оправе	Токарный станок		Резец подрезной, полировальник				
3	1	Чистить объектив после завальцовки		Волчок, оправка	Комплект инструм. для чистки оптики		Смесь эфира со спиртом, вата		
		Контроль прочности крепления объектива в оправе и его центрировки							

(рис. 57). Данный способ крепления позволяет разбирать и юстировать систему, что очень важно в ответственных системах для обеспечения нужного значения фокусного расстояния, цен-

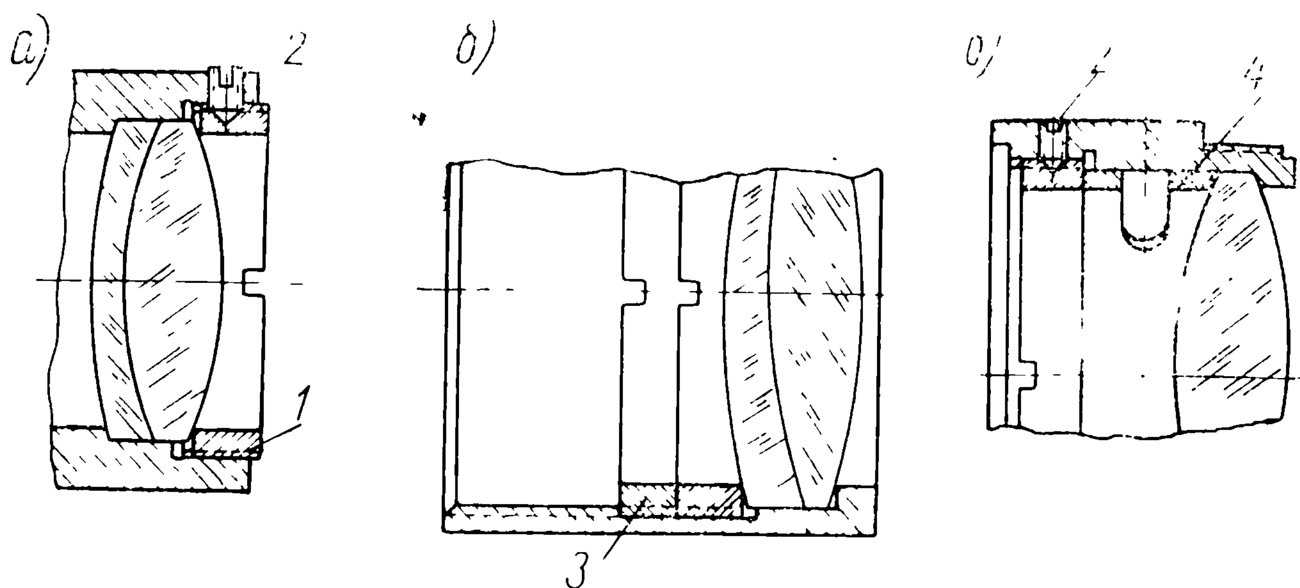


Рис. 57

тировки системы и хорошего качества изображения. Метод сборки применяется для линз с диаметром свыше 6 *мм*. Для предохранения от самоотвинчивания зажимное кольцо *1* стопорится винтом *2* (рис. 57, *а*). При тонкостенных оправах вместо

стопорного винта ставится второе кольцо *3* (рис. 57, *б*) с резьбой, служащее контргайкой для первого. Для устранения неравномерного давления на линзы зажимным кольцом в ответственных системах с диаметром свыше 30 *мм* между зажимным кольцом и линзой устанавливают пружинящее кольцо *4* (рис. 57, *в*).

Точность центрирования оптических деталей в оправе обеспечивается размером зазора между посадочной поверхностью оправы и диаметрами линз. Уточнение центровки линз относительно общей оси оправы для достижения хорошего качества изображения (например, в объективах точных приборов) достигается радиальными перемещениями линз и разворотами в процессе сборки в пределах зазора относительно посадочной поверхности оправы.

Обеспечение значения f_c' сложной системы достигается точными значениями толщин линз и воздушных промежутков между ними либо комплектовкой линз по их фактическим толщинам и измененным воздушным промежуткам, значения которых задаются при сборке и выдерживаются подрезкой высоты промежуточных колец (подробнее см. § 31).

Сборка зажимным кольцом отдельных линз, сеток и склеенных блоков, состоящих из двух компонентов, обычно производится по принципу полной взаимозаменяемости. Оправы и зажимные кольца подаются на сборку в готовом виде после отделки. Центровка узла при сборке обычно не производится. После закрепления оптической детали в оправе зажимное кольцо стопорится одним из указанных выше способов. Системы с воздушными промежутками между линзами применяются в виде сложных объективов и окуляров, сборка которых рассматривается в § 27÷36.

Сборка линз вклеиванием их в оправу

Этот способ крепления линз в оправе применяется в следующих случаях:

1) для крепления отрицательных линз менисков с малой толщиной по оси во избежание деформации их при сборке завальцовкой или прижимным кольцом;

2) при сборке фронтальных линз микрообъективов. Размеры таких линз весьма малы, достигая у иммерсионных объективов с высокой апертурой 1÷2 *мм* в диаметре. Например, на рис. 58 дан разрез и указаны размеры фронтальной линзы иммерсионного объектива с увеличением 90 и апертурой 1,25 (90×1,25). Из рисунка, выполненного в масштабе 20 : 1, понятно, что крепление такой линзы завальцовкой или прижимным кольцом уменьшает свободный диаметр линзы $D_з$, а следовательно, и ее апертуру. Кроме того, при больших увеличениях объектива его

передний отрезок s (рис. 67, *а*) оказывается весьма мал, порядка 0,1 ÷ 0,3 *мм*. Поэтому необходимо, чтобы толщина δ буртика (рис. 58) оправы, на которую опирается линза, была бы как можно меньше, что затрудняет крепление линзы завальцовкой;

3) для крепления неответственных оптических деталей: защитные стекла шкал, осветительные призмы и пр.

Применяемый для сборки клей должен обеспечивать подвижность крепления линз в оправе при сборке и центрировке и не вызывать (для тонких линз) в них натяжений. Для крепления линз иммерсионных объективов клей должен обеспечивать герметичность оправы от проникновения иммерсий в объектив.

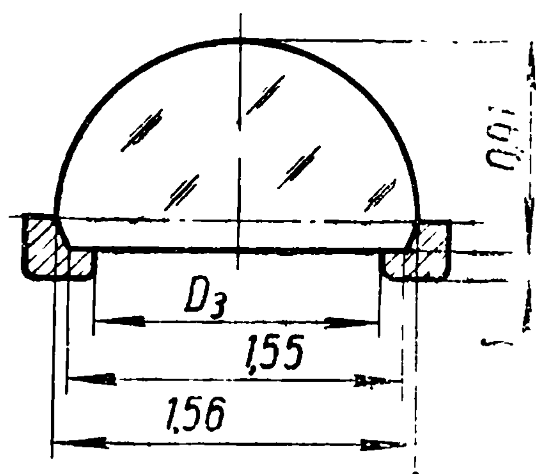


Рис. 58

Для вклеивания линз неиммерсионных объективов (например, фотообъективы) применяют клей, компонентами которого являются эпоксидная шпаклевка, полиэфир, полиэтиленполиамин, сажа. Вклеивание производится без нагрева клея. Такой клей дает возможность вести сборку в течение 30 ÷ 40 *мин*. После вклейки производится сушка клея при комнатной температуре (+20 ÷ 25°) не менее трех суток. Получили также применение следующие клеи: полиуретановый ПУ-2, акриловый, шеллак и герметик УТ-32. Клеи ПУ-2 и УТ-32 рекомендуются для крепления оптических деталей, работающих в условиях резких температурных колебаний; фронтальные линзы клеятся шеллаком.

Технология вклеивания отрицательных менисков заключается в следующем: оправа под линзу растачивается с обеспечением зазора между линзой и оправой порядка 0,01 ÷ 0,06 *мм* и глубины порядка 0,02 ÷ 0,04 *мм*; обезжирив оправу и высушив ее, наносят клей тонкой деревянной или металлической палочкой на стенки оправы, соприкасающиеся с линзой; линза вставляется в оправу и прижимается к ней; избыток клея выдавливается и тщательно удаляется соответствующим растворителем (например, для эпоксидного клея ацетоном). Далее линза центрируется методом блика по оправе. В заключение проводится сушка клея по определенному режиму. Вклеивание фронтальных линз подробно рассмотрено в § 35.

§ 27. Сборка объективов телескопических приборов

Конструктивно объективы данного вида разделяются на две группы: из двух склеенных линз и многолинзовые с воздушными промежутками между линзами.

Сборка склеенных объективов осуществляется либо завальцовкой (см. рис. 56), либо зажимным кольцом (см. рис. 57).

Объективы с воздушными промежутками между линзами конструктивно сложны и должны обеспечивать в большинстве случаев хорошее качество изображения и разрешающую силу. Эти свойства зависят от точности центрировки отдельных линз, точности воздушных промежутков и степени сжатия линз в оправе при сборке прижимным кольцом. Высокое качество сборки достигается индивидуальной пригонкой оправ и промежуточных

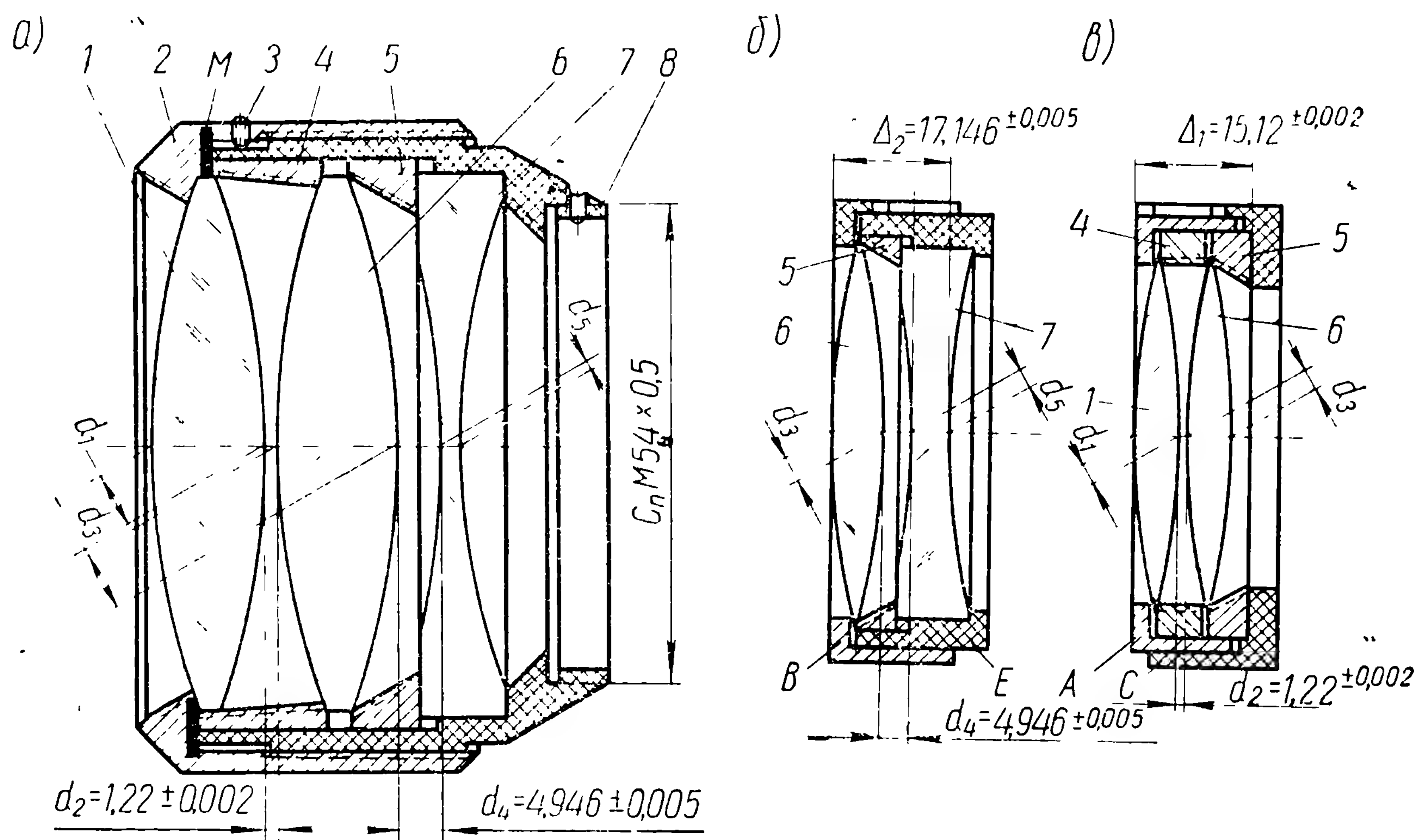


Рис. 59

колец в зависимости от точности диаметров линз, их толщин и ширины воздушных промежутков.

В качестве примера рассматривается сборка трехлинзового объектива трубы оптического теодолита ОТ-2. Этот объектив (рис. 59, *а*) дает высокое качество изображения и разрешающую силу. Одна из главных задач сборки — обеспечение точной центрировки линз объектива относительно оси оправы *8* (рис. 59, *а*) и совмещение этой оси с осью ϕ 20А трубы *Т* прибора (рис. 60, *а* и 119). Для достижения этого оправа *8* растачивается на оправке *7* (рис. 60, *б*), на которой растачивается и труба *Т* (см. подробнее § 43). Оправка *7* (рис. 60, *б*) закрепляется на шпинделе *6* станка и имеет резьбу СпМ 54×0,5, позволяющую закрепить на оправке *7* и оправу *8* объектива и корпус трубы *Т* (рис. 60, *а*), имеющие те же резьбы. Обработка самой оправки ведется с большой точностью по второму классу.

Для обеспечения высокой точности центрировки необходимо, чтобы биение поверхностей ϕ 58 и 64А оправы *8* относительно поверхности ϕ 20А трубы *Т* (рис. 60, *а*) не превышало 0,005, биение торца *В* относительно поверхности ϕ 20А было не бо-

лее 0,003, а биение торца *А* относительно поверхности резьбы СпМ 54×0,5 не превышало 0,005. Торцы указанных диаметров должны быть параллельны друг другу и перпендикулярны оси.

Для максимального уменьшения внутренних деформаций оправы *8* ее подвергают нормализации и искусственному старению. Внешняя отделка всех металлических деталей оправы линз состоит в паркеризации и оксидировке. На внутренних поверхностях деталей *4*, *5* и *8* нарезаются круговые бороздки для

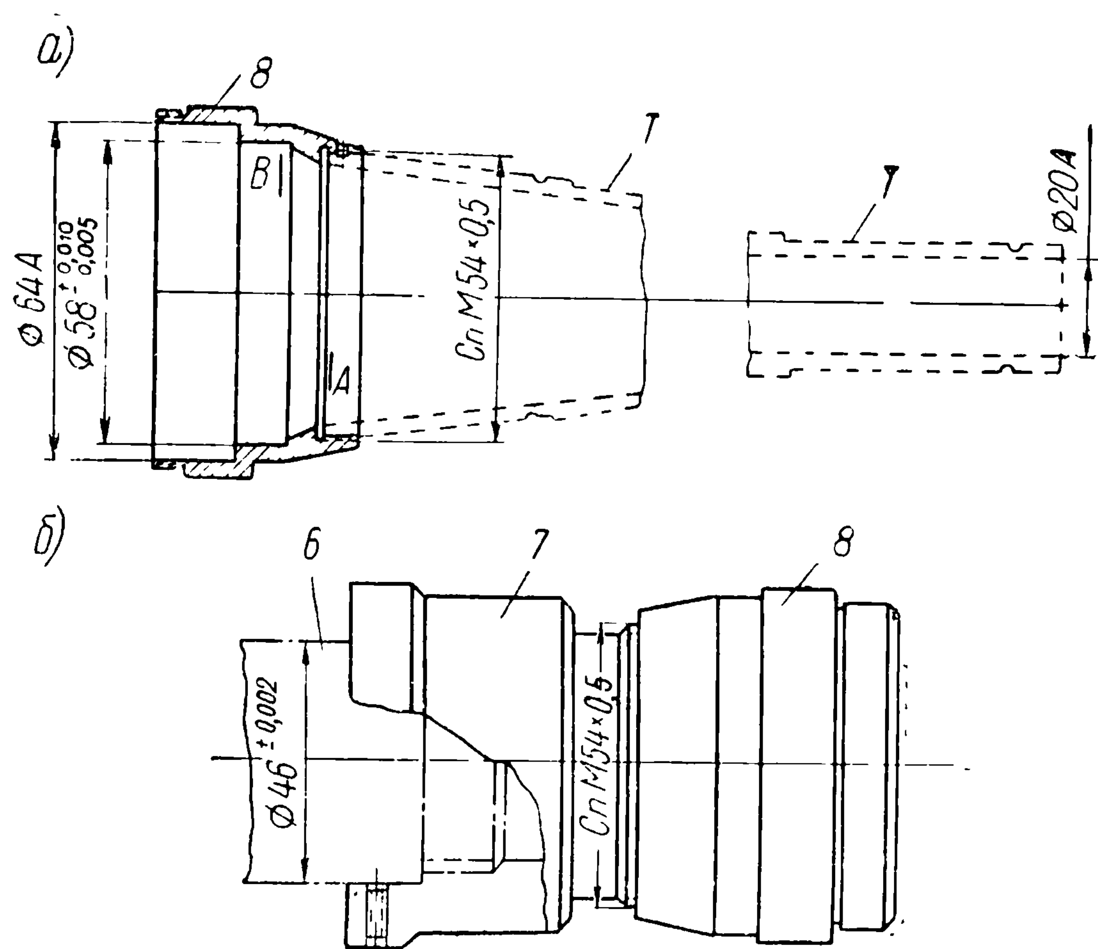


Рис. 60

уменьшения светорассеяния. Для обеспечения заданного значения фокусного расстояния объектива при выдержанных толщинах линз необходимо обеспечить установленные размеры воздушных промежутков d_2 и d_4 между линзами (рис. 59, *а*). Это достигается подточкой колец *4* и *5*, которые подаются на сборку с некоторым запасом высоты. Для определения длины воздушных промежутков применяются специальные оправки *Е* и *А* (рис. 59, *б* и *в*).

Собрав линзы парами (как это показано на рис. 59, *б* и *в*), измеряют толщины Δ_1 и Δ_2 с точностью, соответствующей допускам на значения воздушных промежутков (рис. 59, *а*). Обычно для измерения отрезков Δ применяют длиномеры, универсальный микроскоп или прецизионный сферометр. Так как толщины d_1, d_3 и d_5 линз известны, то размеры d_2 и d_4 воздушных промежутков найдутся по формулам $d_2 = \Delta_1 - (d_1 + d_3)$ и $d_4 = \Delta_2 - (d_3 + d_5)$. Если размеры d_2 и d_4 превышают значения, указанные на рис. 59, *а*, то высоты колец *4* и *5* подтачивают. При обработке колец *4* и *5* необходимо, чтобы биение их внешних цилиндрических поверхностей, которыми они сажаются в оправу *8*, и поверх-

ностей, которые являются посадочными для линз, не превышало 0,005, а биение торцов колец не превосходило 0,003.

После чистки оптики, промывки и сушки металлических деталей объектив собирается по чертежу.

Поверхности промежуточных колец и зажимного кольца *2* (рис. 57, *а*), соприкасающиеся с полированными поверхностями линз, промазываются воском. После этого производится центрировка линз относительно оси оправы объектива путем разворота линз в оправе при ослаблении кольца *2*, добиваясь хорошего качества изображения точки (см. § 10). Наибольшее влияние на центрировку объектива оказывает отрицательная линза *7*.

Выполнив центрировку, окончательно поджимают кольцо *2* и стопорят его винтом *3*. Для герметизации объектива в зазор *М* вводится замазка. Внешние поверхности линз *1* и *7* подвергаются чистке.

При контроле объектива проверяются качество изображения и разрешающая сила (см. § 12). Во избежание появления в линзах внутренних напряжений сжатие линзового блока оправой *2* не должно быть сильным.

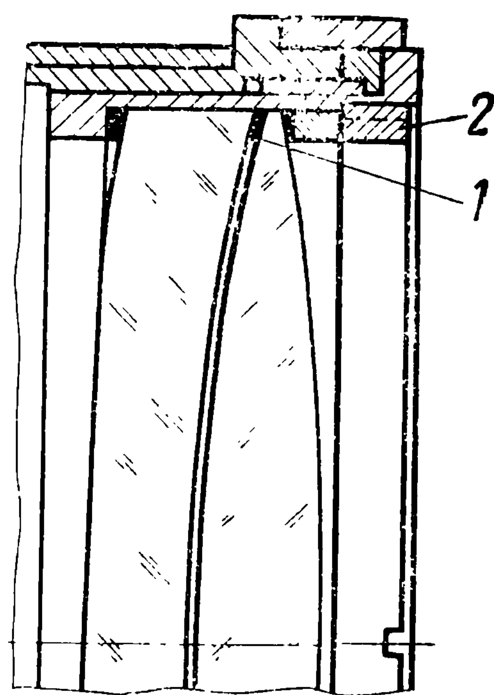


Рис. 61

Технология сборки менее ответственных объективов значительно проще. Например, оправа двухлинзового объектива, изображенного на рис. 61, растачивается под диаметры обеих линз с зазором порядка 0,01 *мм*. Воздушный промежуток обеспечивается тремя радиально расположенными под углом 120° станиолевыми прокладками *1*, толщина которых отличается друг от друга не более чем на 0,02÷0,03 *мм*. Прокладки приклеиваются к поверхности отрицательной линзы. Центрировка объектива осуществляется поворотами положительной линзы. Крепление линз в оправе достигается прижимным кольцом *2*.

Линзы объектива обычно комплектуются для обеспечения нужного фокусного расстояния. Юстировка центрировки достигается поворотами линз. Точность пригоночных работ определяется требованиями к объективу.

§ 28. Сборка окуляров телескопических приборов

Все окуляры (за исключением однолинзового окуляра трубы Галилея, см. рис. 45, *а*) имеют несколько линз с воздушными промежутками между ними. Крепление в оправе осуществляется прижимным кольцом. Требования к параметрам большинства окуляров значительно ниже, чем к объективам, поэтому они

собираются обычно по принципу полной взаимозаменяемости и не контролируются. Подгонка воздушных промежутков между линзами окуляра для его юстировки производится редко.

Окуляры как сборочный узел разделяются на две основные группы: собираемые и юстируемые без сетки и собираемые и юстируемые с сеткой или ее изображением.

К окулярам первой группы относятся, например, сменные окуляры геодезических труб с установкой их на резкое изображение сетки по глазу наблюдателя и окуляры некоторых зрительных труб без установки их по глазу.

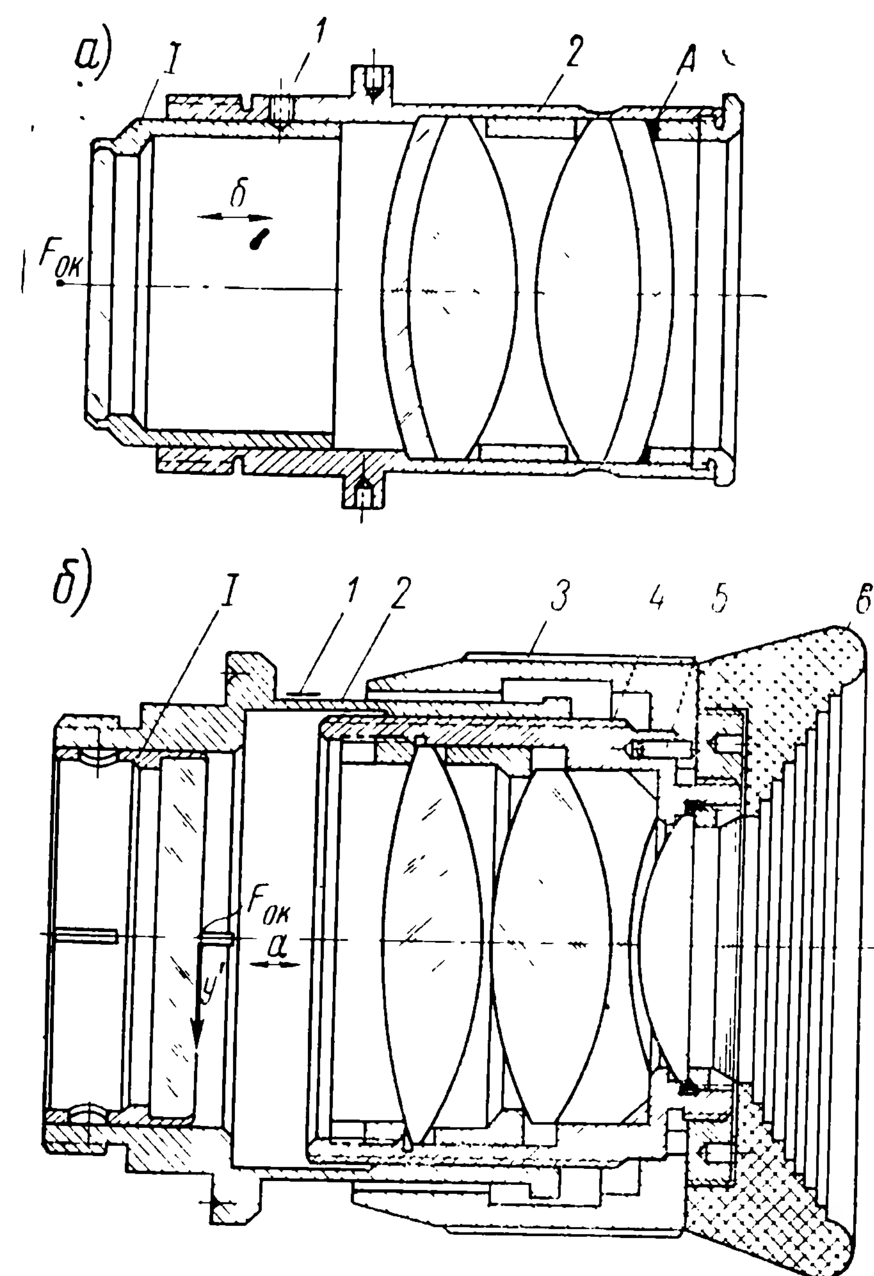


Рис. 62

Окуляры второй группы по специфике сборки можно разделить на два вида: без диоптрийной наводки на сетку (рис. 62,*а*) и с наводкой на сетку или ее изображение *y'* (рис. 62,*б*).

Сборка окуляров без сеток наиболее проста. Все эти окуляры собираются по принципу полной взаимозаменяемости. Механические детали подаются на сборку после отделки. Никаких юстировок и контроля сборки не производится.

Для сборки окуляров с сеткой без фокусировки окуляра на ее изображение (рис. 62,*а*) характерна операция установки сетки в нулевое положение (см. § 9). После сборки линз окуляра, его герметизации (слой *А*) и чистки поверхностей линз в оправу *2* окуляра вставляется сборка *I* сетки в оправе. Перемещением сборки *I* в оправе *2* (по стрелке *б*) устанавливают сетку при помощи диоптрийной трубки в нулевое положение и стопорят ее винтом *1*. Обычно в этом случае сетку устанавливают не в передний фокус окуляра, а несколько ближе к окуляру, чтобы глаз работал в расходящихся пучках лучей в пределах 0,5—1,0 диоптрий. После этого чистят внешние поверхности сетки и глазной линзы окуляра.

Сборка окуляров с сеткой и установкой окуляра на резкое видение изображения сетки по глазу (рис. 62, *б*) дополняется операцией установки диоптрийного кольца *3* (см. § 13). Сетка в оправе (узел *I*) устанавливается в пе-

редний фокус окуляра, а нуль диоптрийной шкалы *3* совмещается с установочной риской *1*, нанесенной на корпусе *2* окуляра. Диоптрийное кольцо крепится к оправе *4* окуляра тремя штифтами *5*. В заключение проверяются деления диоптрийной шкалы (см. § 13). В нужных случаях к окуляру крепится наглазник *6*, фиксирующий зрачок глаза в плоскости зрачка выхода окуляра.

В некоторых зрительных трубках, имеющих оборачивающие системы, сетка устанавливается в фокальной плоскости объектива (см., например, рис. 124, сб. *II*). В этом случае окуляр (рис. 62, *б*) выставляется при помощи диоптрийной трубки на резкое видение изображения y' сетки после ее установки в приборе. При юстировке окуляр перемещается по стрелке *а* до тех пор, пока изображение y' сетки не окажется в переднем фокусе окуляра; при этом диоптрийная шкала *3* устанавливается на нуль по риске *1*, нанесенной на корпусе *2* прибора.

§ 29. Сборка объектива с коллективом и линзовых оборачивающих систем

Как указывалось в § 4, линзовые оборачивающие системы делятся на две группы: с параллельным ходом лучей между компонентами системы и непараллельным ходом (см. рис. 1, *г*, *д*).

При сборке систем первой группы их удобно комплектовать так, чтобы второй компонент предыдущей системы (например, Φ_2, рис. 63, *а*) с первым компонентом последующей (например, Φ_3) составлял простую зрительную трубу; в этом случае сборка должна обеспечивать совмещение соответствующих фокусов F_2' и F_3 указанных компонентов с проверкой видимого увеличения Г такой системы; при этом между системами будет иметь место параллельный ход лучей, что позволяет снизить точность их взаимного положения.

В большинстве случаев такую сборку ведут последовательно, начиная с объектива и первого компонента первой оборачивающей системы; установив второй компонент этой системы по чертежу, юстируют с ним первый компонент второй системы и т. д.

Если в приборе предусмотрены коллективы *К* (рис. 63, *а*), то их устанавливают в общих фокальных плоскостях компонентов системы с юстировкой параллакса (см. § 9). Так, например, если коллектив *К* должен быть установлен в задней фокальной плоскости объектива (рис. 63, *а*), то сначала юстируют коллектив (по стрелке *а*) относительно объектива и, закрепив его, выставляют (по стрелке *б*) первый компонент Φ_1 первой оборачивающей системы в нулевое положение по отношению к коллективу.

При непараллельном ходе лучей между компонентами оборачивающей системы (рис. 63, *б*) с задним фокусом объектива $F'_{об}$ и передним фокусом окуляра $F_{ок}$ совпадают соответственно сопряженные точки C и C' оборачивающей системы, в которых находятся изображение y', даваемое объективом, и сопряженное ему изображение y'', даваемое оборачивающей системой. Последнее совпадает с передним фокусом $F_{ок}$ окуляра и задним фокусом $F'_{об+о.с}$ системы, состоящей из объектива (на рисунке не показан) и оборачивающей системы.

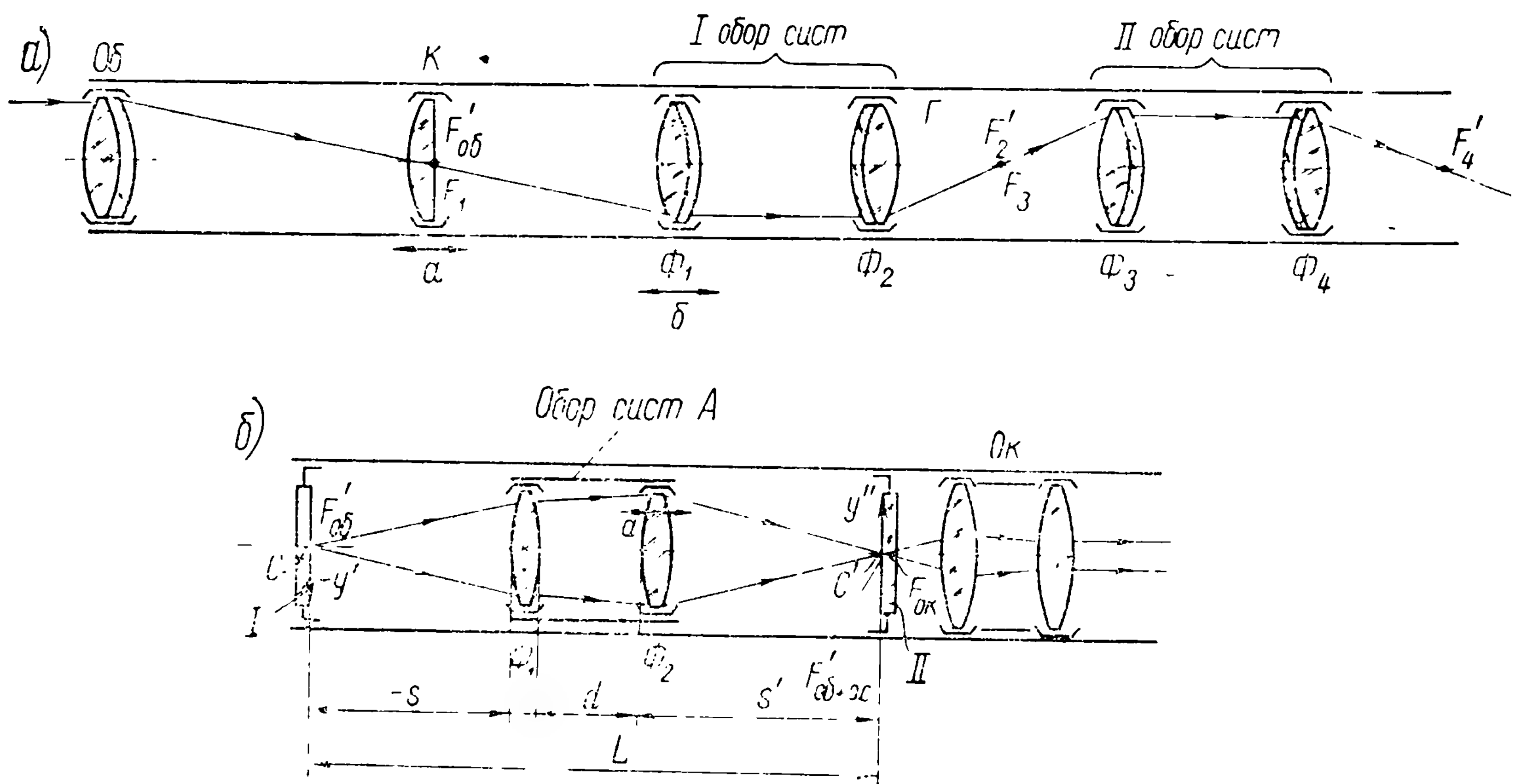


Рис. 63

Положение и размеры изображения y'' зависят при заданном отрезке L от расстояния d между компонентами оборачивающей системы, которое и регулируется при юстировке этой системы перемещением второго компонента $Ф_2$. Отношение отрезков $\frac{s'}{s}$ определяет поперечное увеличение оборачивающей системы и должно проверяться и обеспечиваться при сборке. Как указывалось в § 6, положение компонента $Ф_2$ влияет и на положение зрачка выхода системы.

Сборка и юстировка узла такой оборачивающей системы производятся на установке, схематично изображенной на рис. 63, *б*. Юстируемый узел *А* устанавливается так, чтобы эталонная сетка *I* находилась на заданном расстоянии $-s$ от первого компонента $Ф_1$. Вторая эталонная сетка *II* выставлена в переднем фокусе окуляра установки и одновременно в плоскости y'', сопряженной с плоскостью y' сетки *I* при заданном отрезке L, обеспечивающем нужное поперечное увеличение β.

Перемещением компонента $Ф_2$ (по стрелке *а*) добиваются совмещения изображения y'' сетки *I* со второй эталонной сет-

кой *II* и проверяют поперечное увеличение, после чего крепят компонент Φ_2 в оправе *А*; этим обеспечивается правильное расстояние *d* между компонентами.

§ 30. Общие сведения о сборке микро-, фото- и кинообъективов

Несмотря на существенное различие в назначении микроскопов, фото- и киноаппаратов, конструкции объективов этих приборов и процессы их сборки во многом сходны и значительно

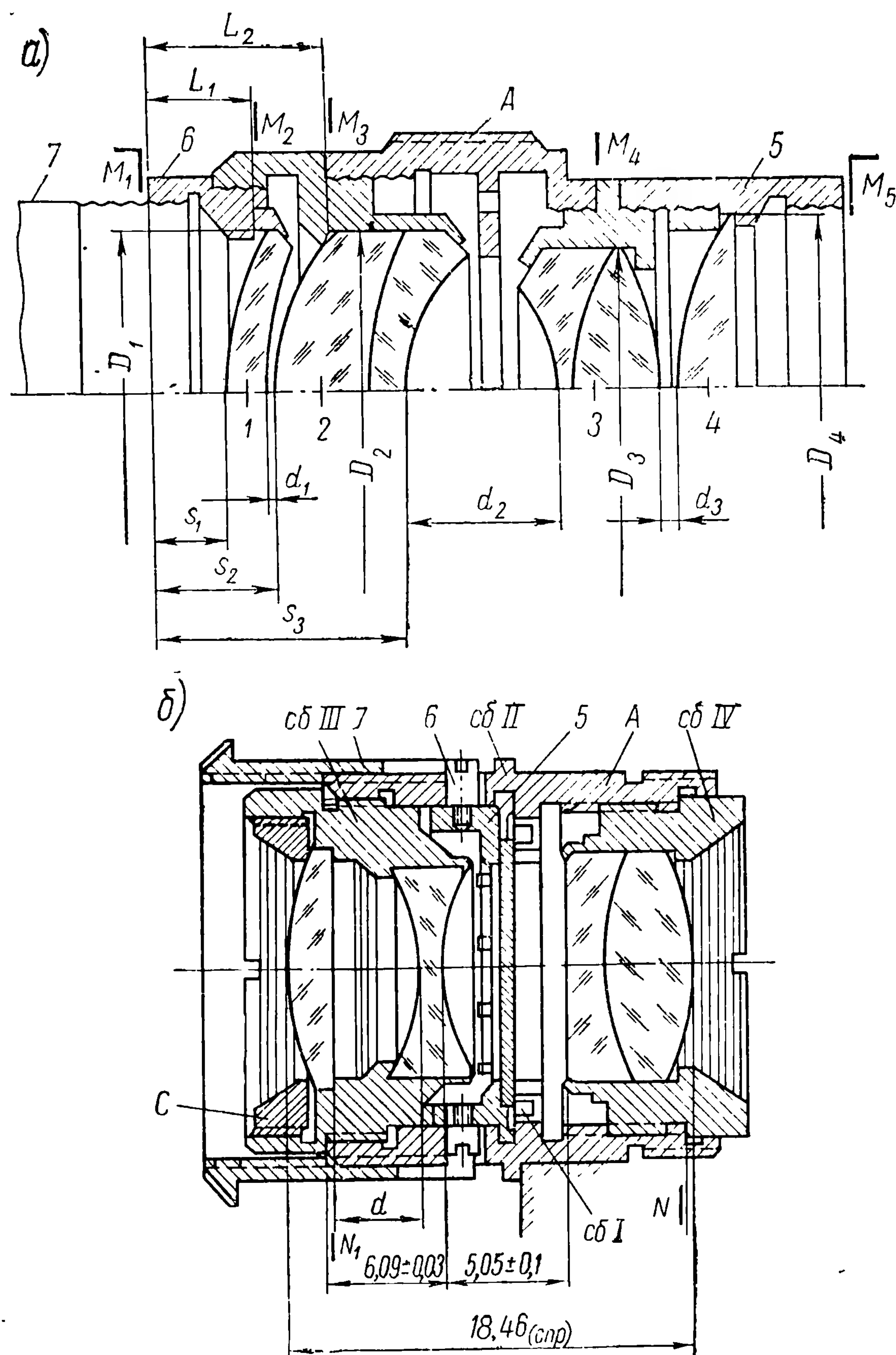


Рис. 64

отличаются от устройства и методов сборки объективов телескопических труб.

В связи с высокими требованиями, предъявляемыми обычно к качеству изображения, разрешающей силе и конструктивным параметрам микро-, фото- и кинообъективов, конструкции их

сложные, многолинзовые. Объективы должны быть взаимозаменяемы: микрообъективы — при перемене увеличения микроскопа путем смены объективов; фотообъективы — при замене объектива для изменения светосилы, поля зрения или фокусного расстояния.

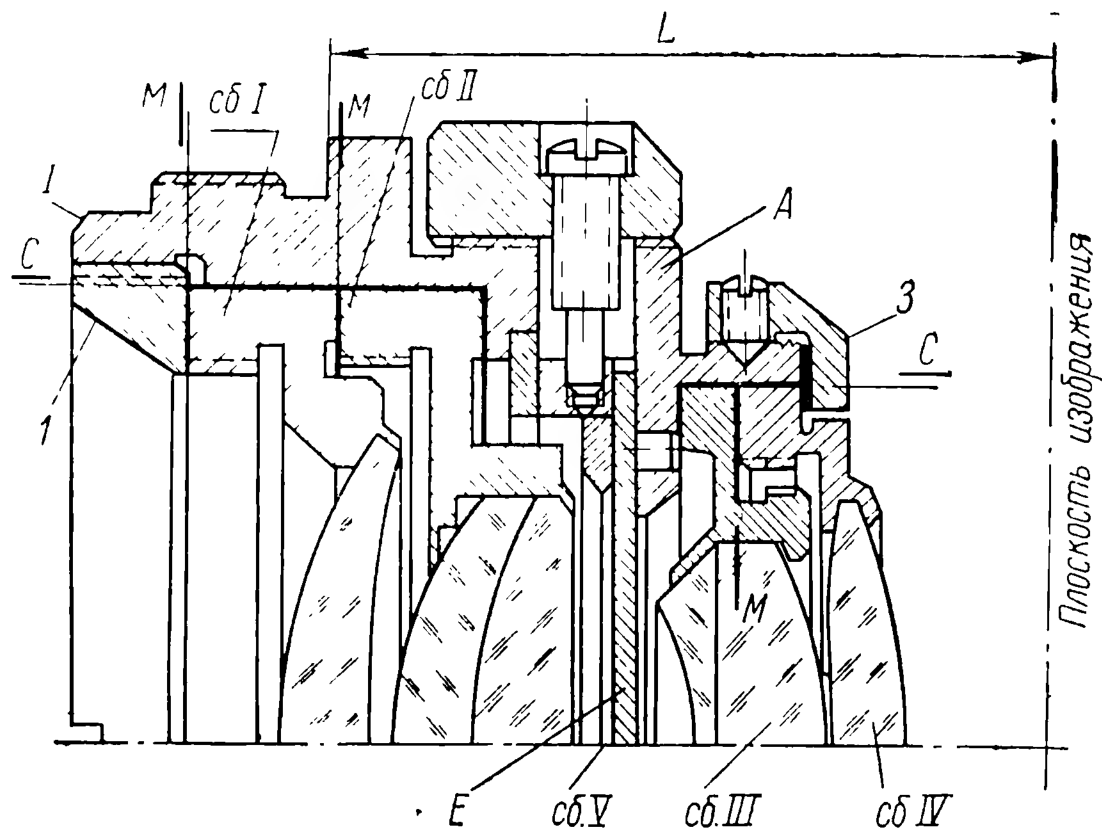


Рис. 65

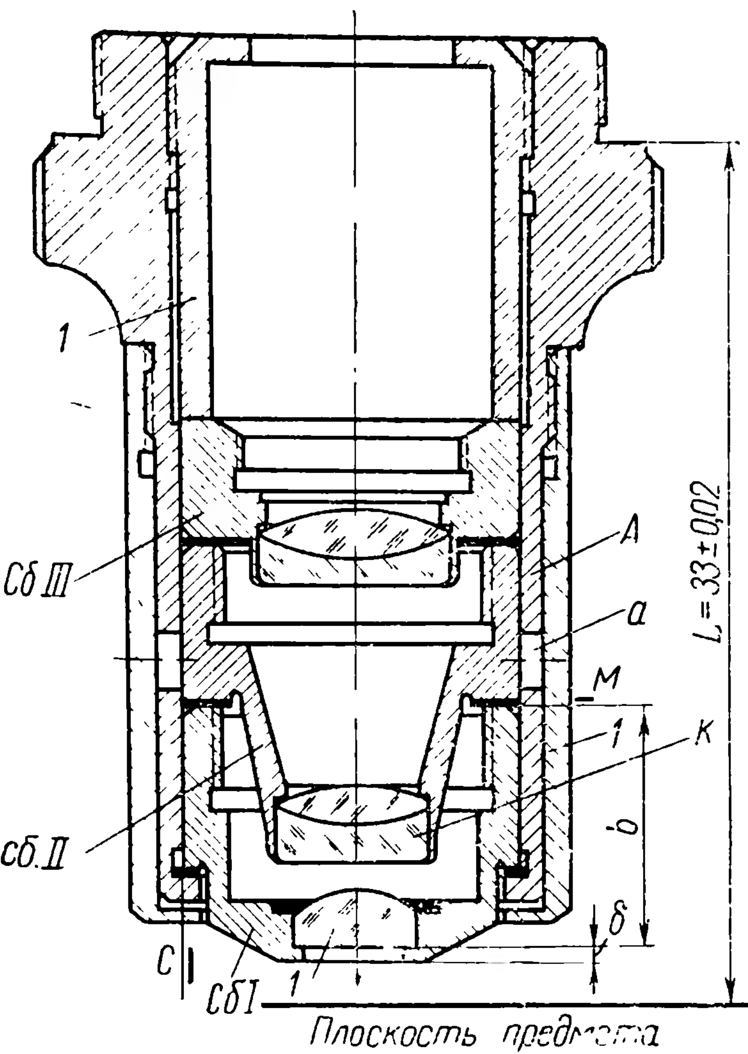


Рис. 66

Конструктивно в зависимости от вида оправ микро-, фото- и кинообъективы можно разделить на две основные группы — свинчивающиеся и насыпные. В объективах первой группы (рис. 64) линзовые компоненты в оправах свинчиваются друг с другом и оправой *А* объектива. В другом случае (рис. 65, 66) линзовые компоненты в оправах вкладываются (насыпаются) в оправу *А* объектива и закрепляются прижимным кольцом *1*.

В насыпных объективах все линзы крепятся в оправах завальцовкой с центрировкой оправы по линзе при помощи трубки Забелина (см. § 10, рис. 24,*б*). Таким образом, точность центрировки объектива определяется точностью центрировки линз в их оправах и величиной зазора между оправами линз и оправой объектива. Наклон (перекос) линз исключается тщательной проточкой торцов оправ линз, которые плотно прилегают друг к другу. Улучшение центрировки объек-

тива достигается разворотом линзовых компонентов в оправе объектива.

В свинчивающихся объективах линзы крепятся в оправах завальцовкой с центрировкой их по блику, за исключением одной линзы, крепящейся прижимным кольцом (например, C на рис. 64, *б*), что позволяет уточнить центрировку объектива разворотом линзы, закрепленной этим способом. Точность центрировки таких объективов зависит от точности центрировки

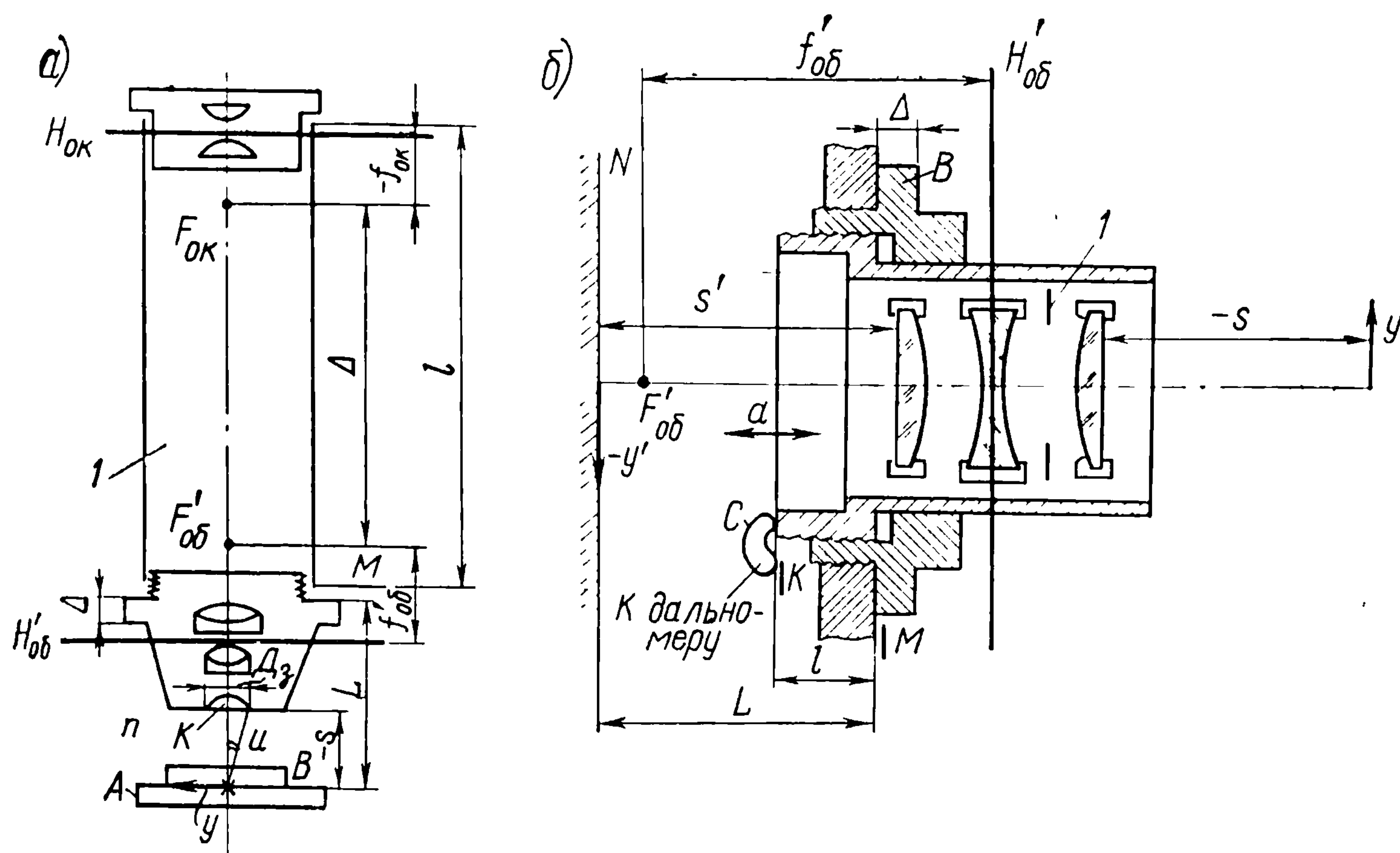


Рис. 67

линз в оправах и точности совпадения осей оправ при их свинчивании.

Сборка микрообъективов должна обеспечить: 1) линейное (поперечное) увеличение; 2) числовую аппературу; 3) разрешающую силу и качество изображения; 4) отрезок L.

Как было показано в § 4, увеличение объектива $\beta = -\frac{\Delta}{f'_{об}}$.

Следовательно, при сборке объектива необходимо в первую очередь обеспечить значение его фокусного расстояния, поскольку изменением β приходится юстировать увеличение всего микроскопа. При смене объективов для обеспечения заданного β необходимо выдерживать правильное положение торца M оправы объектива относительно его заднего фокуса $F'_{об}$ при ввинчивании объектива в тубус *1* микроскопа. Это достигается соответствующей длиной L рабочего отрезка объектива, т. е. расстояния от торца M оправы объектива до плоскости объектива AB (рис. 67, *а*).

Числовая апертура $A = n \sin u$, где n — показатель преломления среды, в которой находится объект, а u — половина апер-

турного угла, под которым видно свободное отверстие D_3 фронтальной линзы *К* объектива. Апертура зависит в значительной степени от точности центрировки и тщательности сборки фронтальной линзы.

При сборке фотообъективов необходимо выдержать:

1) хорошее качество изображения и разрешающую силу в центре и на краю поля;

2) значение фокусного расстояния объектива;

3) постоянство рабочего отрезка *L* (от плоскости *M* торца оправы *B*, рис. 67, *б*) для всех объективов комплекта к аппарату, чтобы изображение *y'* объекта *y* всегда получалось в плоскости пленки *N*;

4) правильную работу диафрагмы *1*;

5) правильный «вылет» (отрезок *l*) торца *K* оправы объектива при фокусировке его (по стрелке *a*) на различно удаленные предметы *y* для правильной работы дальномера фотоаппарата, с которым торец *K* связан кулачком *C*;

6) правильное взаимное положение шкалы *2* глубины резкости поля по отношению к шкале *3* дальности дальномера (см. рис. 69); индексы *M* и ∞ совпадают;

7) правильное положение шкалы диафрагм *4* по отношению к отсчетному индексу *И*.

Требования к сборке кинообъективов близки к требованиям, предъявляемым к фотообъективам; конструкции их и технология сборки весьма сходны.

Свойства объективов, оговоренные в пп. 1, 2 и 4, обеспечиваются сборкой так называемого блока объектива (например, рис. 64, *б*). Другие свойства объектива обеспечиваются соответствующими механизмами и их взаимодействием.

Специфику сборки фото- и кинообъективов составляют, как правило, методика сборки собственно блока объектива и главным образом способы центрировки отдельных линзовых компонентов, их блоков и всего объектива в целом.

Методы сборки блоков объективов зависят от их конструкции и требований к качеству изображения и разрешающей силы, которые в свою очередь зависят от точности центрировки объектива. Максимальную точность центрировки фотообъективов (до ≈ 5 *мкм*) обеспечивает сборка при центрировке компонентов объектива автоколлимационным способом «по линзе»; однако осуществление этого метода требует сложной оснастки и значительного времени; этот метод получил применение для насыпных конструкций объективов.

Центрировка свинчивающихся объективов обеспечивается методом последовательной расточки оправ линзовых компонентов от одной механической базы. Метод реализуется в двух основных вариантах: 1) путем индивидуальной расточки оправ под

линзы каждого объектива (линзовые компоненты крепятся завальцовкой; один из них — зажимным кольцом); 2) расточкой оправ по калибрам в пределах заданных точностей (линзовые компоненты крепятся зажимными кольцами); такой метод наиболее рационален для поточного производства, исключая индивидуальную пригонку оправ под линзы и уменьшая их брак по царапанию и загрязнению рабочих поверхностей.

Общим характерным и весьма важным приемом в сборке микро-, фото- и кинообъективов является применение метода комплектации объективов по плавкам стекол, толщинам линз и воздушным промежуткам между линзами. Этот метод основан на взаимной компенсации некоторых ошибок оптической системы и позволяет обеспечить хорошее качество изображения объектива при сравнительно широких допусках на конструктивные параметры системы.

§ 31. Комплектация объективов по плавкам стекол, толщинам линз и воздушным промежуткам между ними

Для обеспечения заданного качества изображения и разрешающей силы фотообъектива при его расчете устанавливаются определенные допуски на величины отклонений оптических постоянных стекол линз [Δn_D и $\Delta(n_F - n_C)$], значения их радиусов и толщин, точность воздушных промежутков между линзами.

Применяемая в настоящее время методика расчета допусков приводит обычно к достаточно жестким допускам на отклонения параметров системы, которые к тому же часто еще более ужесточаются конструкторами в порядке перестраховки. Использование узких допусков на первый взгляд как будто гарантирует конструктору обеспечение нужного качества изображения системы, хотя все производственные процессы при этом усложняются, а продукция удорожается. Однако методика расчета допусков в ряде случаев не исключает возможности сложения определенного числа систематических и случайных погрешностей параметров системы, в результате чего качество его изображения ухудшается, несмотря на то, что детали изготовлены по строгим допускам.

Систематическим отклонением для любой партии стекла будет отступление от радиуса кривизны пробного стекла Δr; к случайным погрешностям относятся отклонения Δd толщин линз от расчетных данных и отклонения Δr радиусов линз от пробного стекла.

Опыт расчета оптических систем, особенно многокомпонентных, показывает, что можно существенно расширить допуски на конструктивные параметры системы или обеспечить хорошее качество изображения системы при отклонениях конструктивных параметров свыше допустимых, исключая их систематиче-

ские и случайные погрешности путем взаимной компенсации отклонений одних параметров системы отклонениями ее других параметров. Метод компенсации может улучшать также и качество изображения фотообъектива после сборки, если ухудшение качества вызвано неблагоприятным сочетанием погрешностей параметров системы.

Метод компенсации основан на комплектации: 1) стекол линз различных плавок; 2) линз по их толщинам; 3) блоков линз по воздушным промежуткам между ними. Возможна также компенсация отклонений и путем подбора радиусов линз. Однако этот способ существенно сложнее, так как требует расчета и изготовления новых пробных стекол.

Метод компенсации отклонений требует выполнения следующих работ:

1) изучения влияний отклонений конструктивных параметров системы на ее аберрации, фокусное и вершинное фокусное расстояния;

2) определения конкретных отклонений конструктивных параметров данной оптической системы от расчетных данных;

3) компенсации найденных отклонений путем подбора (комплектации) стекол, толщин линз и их воздушных промежутков, а иногда и радиусов линз путем пересчета основной системы на основе вычисленных отклонений аберраций в зависимости от изменений конструктивных параметров.

Изучение влияния отклонений конструктивных параметров системы

Оптики-конструкторы в вычислительном бюро выбирают значения отклонений Δn, $\Delta(n_F - n_C)$, $\Delta d_л$ и $\Delta d_в$ (где $d_л$ — толщины линз, $d_в$ — ширина воздушных промежутков), которые вписываются в таблицу (называемую в дальнейшем таблицей влияний на аберрации), которая ввиду ее громоздкости в книге не приводится. Выбирать следует такие величины отклонений параметров, которые практически встречаются на производстве и влияют на величину аберраций заметным образом. По данным М. Д. Мальцева, для некоторых фотообъектов можно рекомендовать, например, следующие изменения параметров: $\Delta n = \pm 0{,}001$; $\Delta(n_F - n_C) = \pm 0{,}0001$; $\Delta r_1 = \pm 1\%\ r$; $\Delta r_2 = \frac{r_2}{r_1}\Delta r_1$; $\Delta d = 0{,}1 \div 0{,}5$, причем для систем, чувствительных к изменению толщин (например, широкоугольных), величину Δd следует брать в пределах от 0,05 до 0,1.

Задавшись величинами отклонений конструктивных параметров, вычисляют изменение фокусного расстояния $\Delta f'$, вершинного фокусного расстояния s_F', хроматизма положения и увеличения, сферической аберрации и условия изопланатизма, астигматизма и дисторсии, вписывая значения полученных отступлений в соответствующие графы таблицы влияний.

Для полного представления об изменении аберраций по полю зрения желательно выполнять просчет соответствующих лучей для двух высот и углов. Полезно определять отклонения аберраций при изменении конструктивных параметров и в плюс и в минус.

Определение конкретных отклонений параметров системы от расчетных данных производится в лаборатории, где измеряются фактические значения n_D, $n_F—n_C$ стекол конкретных плавок, предназначенных для изготовления деталей данной системы, толщины линз перед склейкой их в блоки и отклонения в радиусах пробных стекол (эти отклонения постоянны для любых плавок стекол).

Сравнив полученные данные конструктивных параметров системы с расчетными, находят величины их конкретных отступлений для данной оптической системы.

Компенсация найденных отклонений параметров

Комплектация линз по плавкам. Прежде всего оцениваются фактические значения Δn_D и $\Delta(n_F—n_C)$ для стекол плавок, предназначенных для изготовления объектива. Измеренные отклонения вписываются в табл. 8 против соответствующих линз. Используя данные таблицы влияний, определяют изменения $\Delta f'$, $\Delta s'$ и аберраций, соответствующие фактическим отклонениям Δn_D и $\Delta(n_F—n_C)$. Эти изменения вписываются в таблицу, например табл. 9, и суммируются. Если сумма изменений не превышает допуска, то оптический цех может изготовлять детали из стекол данных плавок. В ином случае прибегают к методу компенсации.

Для производства наиболее целесообразно произвести компенсацию только подбором стекол других плавок, Δn_D и $\Delta(n_F—n_C)$ которых могли бы компенсировать соответствующие отклонения оптических свойств стекол данной плавки. Это возможно, если стекловаренный завод располагает достаточным числом плавок с различными Δn_D и $\Delta(n_F—n_C)$ для всех линз данного объектива. В этом случае вычислители могут составлять такие комбинации стекол с отклонениями оптических констант и даже за пределами допусков, что качество изображения всей системы будет достаточно хорошим без дополнительных изменений конструктивных параметров оптической системы (Δd и Δr). На основании опыта производства многих фотообъективов можно считать, что хорошие результаты может дать комплектовка стекол с условием компенсации изменения только сферической аберрации и положения фокуса меридиального узкого пучка, так как при этом компенсация хроматической аберрации и условие изопланатизма выполняются приближенно. При оценке влияния отклонений Δn_D отдельных линз в смысле их сложения

или взаимной компенсации можно приближенно считать, что если оптическая сила склеенного блока линз или линз, расположенных на близком расстоянии, остается неизменной при данных Δn линз, то это сочетание можно считать благоприятным.

В соответствии с данными компенсации аберраций комплектуют объективы данной партии из прессовок линз стекол соответствующих плавок. Во избежание путаницы стекол разных партий линзы должны снабжаться паспортом согласно комплектации и упаковываться отдельно.

Если завод оптического стекла не имеет плавок, позволяющих выполнять компенсацию аберраций только комплектовкой стекол, то вычислительное бюро на основании таблицы влияний должно произвести пересчет системы, т. е. изменить соответствующим образом либо толщины линз, либо ширину воздушных промежутков между ними.

Комплектация линз по их толщинам и воздушным промежуткам между линзами. Наиболее рационально изменять только воздушные промежутки, так как изменение толщин линз и их радиусов осложняет работу оптического цеха, поскольку приходится менять радиусы шлифовальников, блокировочных приспособлений и пробных стекол.

При пересчете системы для упрощения производства следует пробовать ограничиваться изменениями в наименьшем числе d или r, что обычно практически возможно для одного или двух воздушных промежутков и одной или двух толщин линз. Весьма важно при пересчете системы сохранять значения важнейших аберраций основной системы, например для фотообъективов универсальных любительских — сферической аберрации, астигматизма и кривизны поля, а для широкоугольных топографических и репродукционных — дисторсии.

Нельзя допускать изменений фокусного f' и фокусного вершинного $s_{F'}$ расстояний объектива. Изменение первого параметра может привести к нарушению фокусировки при помощи дальномера или изменению цены деления сетки в визуальных приборах. Изменение второго параметра может затруднить выдерживание рабочего отрезка объектива.

После пересчета системы комбинации скомплектованных деталей во избежание путаницы дается определенный номер.

Комплектация линз по их толщинам. В конечном итоге в результате пересчета системы на новые $d_л$ и $d_в$ получают новую систему, в которой измененные параметры некоторых линз или воздушные промежутки между ними компенсируют отклонения Δn_D и $\Delta(n_F - n_C)$ стекол.

Однако в процессе изготовления линз возникают отклонения их толщин, которые, складываясь, могут существенно ухудшить качество изображения системы. Во избежание этого линзы ком-

плектуют по толщинам так, чтобы отклонения толщин одних линз компенсировались отклонениями других. Комплектовку линз по толщине целесообразно проводить дважды: 1) перед склейкой их в блоки и 2) перед сборкой объектива.

Перед склейкой линзы следует комплектовать так, чтобы алгебраическая сумма отклонений толщин склеиваемых линз равнялась нулю или была близка к нему. В объективах, чувствительных к изменению толщин (например, широкоугольные, широкоугольные репродукционные и др.), следует учитывать толщину слоя клея примерно $0{,}15 \div 0{,}03$ *мм*, добиваясь в этом случае, чтобы при комплектации суммарная толщина склеенных линз была меньше расчетной толщины склеенного блока. Бывают случаи, когда следует комплектовать линзы перед склейкой так, чтобы толщина склеенного блока изменялась на определенное значение, которым можно было бы компенсировать отклонения в толщинах систематического характера некоторых линз системы.

Комплектация линз по их толщинам производится на основании таблицы влияния изменения толщин на качество изображения системы. В процессе комплектации составляется таблица толщин (табл. 10) скомплектованных линз, которая передается оптическому цеху.

Комплектация линз перед сборкой производится двумя методами. Для серийной и крупносерийной сборки объективов, когда комплектов линз достаточно много и можно сравнительно легко подобрать подходящее сочетание толщин линз, комплектация линз по их толщинам производится по таблице влияний изменений параметров системы обычным образом. В опытном или мелкосерийном производстве, когда в цехе имеется небольшое число комплектов, весьма часто не удается подобрать благоприятной комбинации линз. В этом случае приходится изменять дополнительно воздушные промежутки системы. Таблицы толщин линз и воздушных промежутков комплектации подаются в сборочный цех.

В большинстве случаев сборка фотообъективов ведется с учетом комплектации стекол по плавкам и воздушным промежуткам. Для сборки особенно важно, какие именно воздушные промежутки необходимо обеспечить при сборке и с какой точностью их выдержать. Обычно получив комплектационную ведомость с указанием размеров воздушных промежутков, путем несложных вычислений устанавливают, насколько надо проточить соответствующие торцовые поверхности объективов и глубину посадочных мест под линзы.

Рассмотрим в сокращенном виде примеры компенсации аберраций объектива (рис. 68) за счет изменения воздушных промежутков между линзами и комплектации объектива по толщинам линз.

В табл. 8 приведены значения констант стекол объектива, заданные по основному расчету оптической системы, констант стекол фактических плавок и вычисленные отклонения этих констант.

Воспользовавшись таблицей влияния параметров на аберрации системы (таблица не приводится ввиду ее громоздкости), вычислим изменения некоторых аберраций, происшедших за счет отклонений Δn_D и $\Delta(n_F-n_C)$ фактических стекол от расчетных. Эти данные приведены в пп. 1÷4 табл. 9.

1 2 3 4

2,7±0,15 4,16±0,05 5,05±0,1 5,9±0,1 1,05±0,1

Рис. 68

В п. 5 табл. 9 вписаны суммарные значения каждой аберрации.

Замечая, что значение $\delta x_m = -0{,}0337$ стало довольно большим, пробуем уменьшить его путем изменения первого воздушного промежутка на $\Delta l_1 = -0{,}02$. Подсчитаем по таблице влияний величины аберраций, вносимые в систему при этом изменении, и выпишем эти значения в п. 6 табл. 9.

Суммируя аберрации в пп. 5 и 6, получим в п. 7 значения аберраций фактической системы с учетом фактических стекол и измененного первого воздушного промежутка на 0,02 *мм*. Анализируя эти данные путем сравнения с данными аберраций в п. 5, замечаем, что система имеет теперь приемлемые аберрации. При сборке объектива ширина первого воздушного промежутка должна быть уменьшена на 0,02 *мм*.

Таблица 8

Обозначения деталей	Марка стекла	n_D действительное	n_D расчетное	Δn_D	$n_F - n_C$ действительное	$n_F - n_C$ расчетное	$\Delta(n_F - n_C)$
1	ТК-14	1,6131	1,6130	+0,0001	0,10100	0,10102	−0,00002
2	ЛФ-5	1,5748	1,5749	−0,0001	0,01392	0,01392	0,00000
3	ОФ-1	1,5289	1,5294	−0,00005	0,01026	0,01022	+0,00004
4	ТК-14	1,6131	1,6130	+0,0001	0,01009	0,01012	−0,00003

Произведем теперь комплектацию линз объектива по **их толщинам** с тем, чтобы была частичная компенсация аберраций, вызываемых отклонениями этих толщин, с учетом измене-

Таблица 9

№ пп.	Δn_D	$\sigma=0;\ h_1=0$	$h_1=7{,}5$	$\sigma_1=0$
		$\delta f'_{01}$	$\delta \Delta s'$	$\delta\eta$, %
1	+0,0001	−0,0126	−0,0021	−0,0004
2	−0,0001	−0,0154	−0,0039	+0,0004
3	−0,0005	−0,0675	−0,0160	−0,0015
4	+0,0001	−0,0235	−0,0047	−0,0001
5	—	−0,1190	−0,0267	−0,0019
6	—	+0,0180	+0,0272	−0,0039
7	—	−0,1010	+0,0005	−0,0058

Продолжение

№ пп.	$\sigma_1=22°29'37''$		$\Delta(n_F-n_C)$	$h_1=0$
	δx_S	δx_m		$\delta(s'_{OG'}-s'_{OD})$
1	−0,0009	−0,0019	−0,00002	+0,004
2	−0,0057	−0,0010	0,00000	0,000
3	−0,0060	−0,0250	+0,00004	+0,004
4	−0,0064	−0,0058	−0,00003	+0,009
5	−0,0190	−0,0337	—	+0,017
6	+0,0368		—	—
7	+0,0178		—	—

ния ширины первого воздушного промежутка на величину $\Delta l_1=0{,}02$ *мм*.

Для объектива, представленного на рис. 68, эта комплектация выполняется при соблюдении следующих зависимостей между отклонениями Δd толщин: $\Delta d_1=-(1{,}5\div2{,}0)\,\Delta d_2$; $\Delta d_3=-(1{,}0\div2{,}0)\,\Delta d_2$ (желательно брать $\Delta d_{3/4}=-2\,\Delta d_2$); $\Delta l_1=-0{,}5\,\Delta d_1=-0{,}5[-(1{,}5\div2{,}0)\,\Delta d_2]$.

При комплектовке могут быть использованы линзы с отклонениями толщин Δd_1 до $\pm0{,}15$; Δd_2 и $\Delta d_{3/4}$ — до $\pm0{,}10$. Задаваясь изменением Δd_2 через 0,01 *мм* в плюс и минус, вычислим по указанным зависимостям соответствующие изменения Δd_1, $\Delta d_{3/4}$ и Δl_1; эти данные вписаны в табл. 10, которая содержит несколько комплектов объективов с частично компенсированными аберрациями. При этом в каждом комплекте расчетная величина первого воздушного промежутка выдерживается при сборке объектива с учетом изменения Δl_1 (в нашем примере

$\Delta l_1 = -0{,}02$), выбранного при компенсации отклонений констант стекол, и Δl_1, взятого из табл. 10.

Таблица 10

№ пп.	Δd_2	Δd_1	$\Delta d_{3/4}$	Δl_1
1	+0,10	−0,15 ÷ −0,12	−0,10 ÷ −0,07	+0,07
2	+0,09	−0,15 ÷ −0,11	−0,10 ÷ −0,06	+0,07
3	+0,08	−0,14 ÷ −0,10	−0,10 ÷ −0,05	+0,06
4	+0,07	−0,13 ÷ −0,09	−0,10 ÷ −0,04	+0,06
5	+0,06	−0,11 ÷ −0,07	−0,09 ÷ −0,03	+0,05
6	+0,05	−0,09 ÷ −0,05	−0,08 ÷ −0,02	+0,04
7	+0,04	−0,08 ÷ −0,04	−0,07 ÷ −0,01	+0,03
8	+0,03	−0,07 ÷ −0,03	−0,06 ÷ 0,00	+0,03
9	+0,02	−0,05 ÷ −0,01	−0,05 ÷ +0,01	+0,02

Так, например, для комплекта 7 (табл. 10) окончательный размер l_1, равный по расчету системы $4{,}16 \pm 0{,}05$ (рис. 68), будет теперь равен $4{,}16 \pm 0{,}05 - 0{,}02 + 0{,}03 = 4{,}17 \pm 0{,}05$.

§ 32. Сборка фото- и кинообъективов в свинчивающихся оправах

Блоки этих объективов собираются путем последовательного растачивания оправ с одной установки под линзы и по калибрам.

Сборочный процесс с проточкой под линзы протекает в общих чертах следующим образом. В сборочный цех линзы подаются с паспортом, в котором указываются фактические толщины линзовых компонентов и заданные воздушные промежутки d_1, d_2, d_3, ..., d_n (см. рис. 64, *а*), которые необходимо выдержать при сборке. Для обеспечения этих промежутков на сборочном чертеже указываются размеры L_1, L_2, L_3, ..., L_n, определяющие положение опорных торцовых поверхностей M_2, M_3, ..., M_n оправ линз, либо размеры от базовых поверхностей (например, s_1 и s_2 до вершин линз — первой и второй).

В процессе механической сборки производятся подбор и свинчивание всех оправ линз с корпусом *А* объектива. Выбрав в качестве технологической базы торец M_1 оправы *6* и ее внутреннюю резьбу, закрепляют оправу на точно выверенном шпинделе *7* прецизионного токарно-арматурного станка. После этого с одной установки растачивают оправу *6* и другие оправы под диаметры D_1, D_2, D_3, ..., D_n линз, навинчивая их оправы последовательно одна на другую. В некоторых случаях (как, например, на рис. 64, *а*), когда блок *3* должен завальцовываться из-

нутри объектива (а это практически невозможно), от базы M_1 протачивают торец M_5 оправы *5* и ее внутреннюю резьбу, которые будут служить технологическими базами при завальцовке блока *3*. Диаметры D_1, D_2, D_3 и D_4 должны обеспечить заданные зазоры между линзами и оправами. Одновременно, пользуясь комплектационной ведомостью (см. § 31) с размерами толщин линз и промежутков между ними, подрезают опорные поверхности M_n оправ под линзы для обеспечения воздушных промежутков между ними. Соответствующие линейные размеры измеряются глубиномерами примерно так, как это объяснялось в § 27, рис. 59. Подготовив оправы под завальцовку, подвергают их отделке и обезжириванию, а линзы — чистке; производят завальцовку линз по их оправам и далее сборку всего объектива.

Рассмотрим более подробно сборку объектива «Индустар-22». Этот объектив (рис. 69, *а* и 64, *б*) является основным для аппарата типа «Зоркий» и считается универсальным. Относительное отверстие объектива 1 : 3,5, $f'=52{,}48\pm1\%$, точность центрировки $\approx0{,}02$. Конструкция объектива — свинчивающаяся. Два линзовых компонента завальцовываются, причем оправы линз протачиваются под линзы. Положительная линза крепится прижимным кольцом. Толщина линз и воздушных промежутков выдерживается в соответствии с комплектационной ведомостью (см. § 31).

Объектив состоит из семи сборок, последовательность выполнения которых видна из схемы сборки, приведенной на рис. 70. Сборка *I* представляет собой лепесток *1* диафрагмы (рис. 71), соединенный со штифтами *2* и *3*. В сборку *II* входят оправа *А* сборок *III* и *IV*, обойма *5* диафрагмы и винт *6* для ее работы при помощи обоймы *7* (см. рис. 64, *б*).

Сборки *III* и *IV* понятны из рис. 69, *а* и 64, *б* без объяснений. Узел *V* (см. рис. 69, *а*) представляет собой сборку всего блока объектива. Сборка *VI* (см. рис. 69, *а*) связывает блок (сб. *V*) объектива с помощью переходной оправы *10* (см. рис. 69, *а*) с фланцем *6*, которым весь объектив в сборе ввинчивается во фланец *21* корпуса камеры.

Сборка диафрагмы (сб. *II*) является механической предварительной сборкой. Лепестки *1* диафрагмы (рис. 71) в количестве семи штук вставляются штифтами *2* в отверстия оправы *А* (рис. 72). На штифты *3* лепестков надевается обойма *5*, имеющая два отверстия с резьбой под винт *6*. Навинчивают обойму *7* на оправу *А*, выдерживая размер $5\pm0{,}3$ и совмещая пазы обоймы *7* с отверстиями под винт *6* в детали *5*. Установив винт *6*, добиваются плавного хода лепестков, обеспечив максимальный диаметр диафрагмы $11{,}9\pm0{,}3$ и минимальный $2{,}6\pm\pm0{,}2$. В последнем случае отверстие диафрагмы должно иметь правильную форму.

Завальцовка склеенного блока в сборке *IV* производится на специальном станке (рис. 73). Закрепляемый блок *1* помещается в оправу *2*, устанавливаемую в оправку *3* шпинделя *4* станка, оси которых соосны с точностью порядка 1÷2 *мкм*. Перемещая линзу в оправе (по стрелке *а*), наблюдают в окуляр *5* автоколлимационной трубки *I* два блика изображений точки

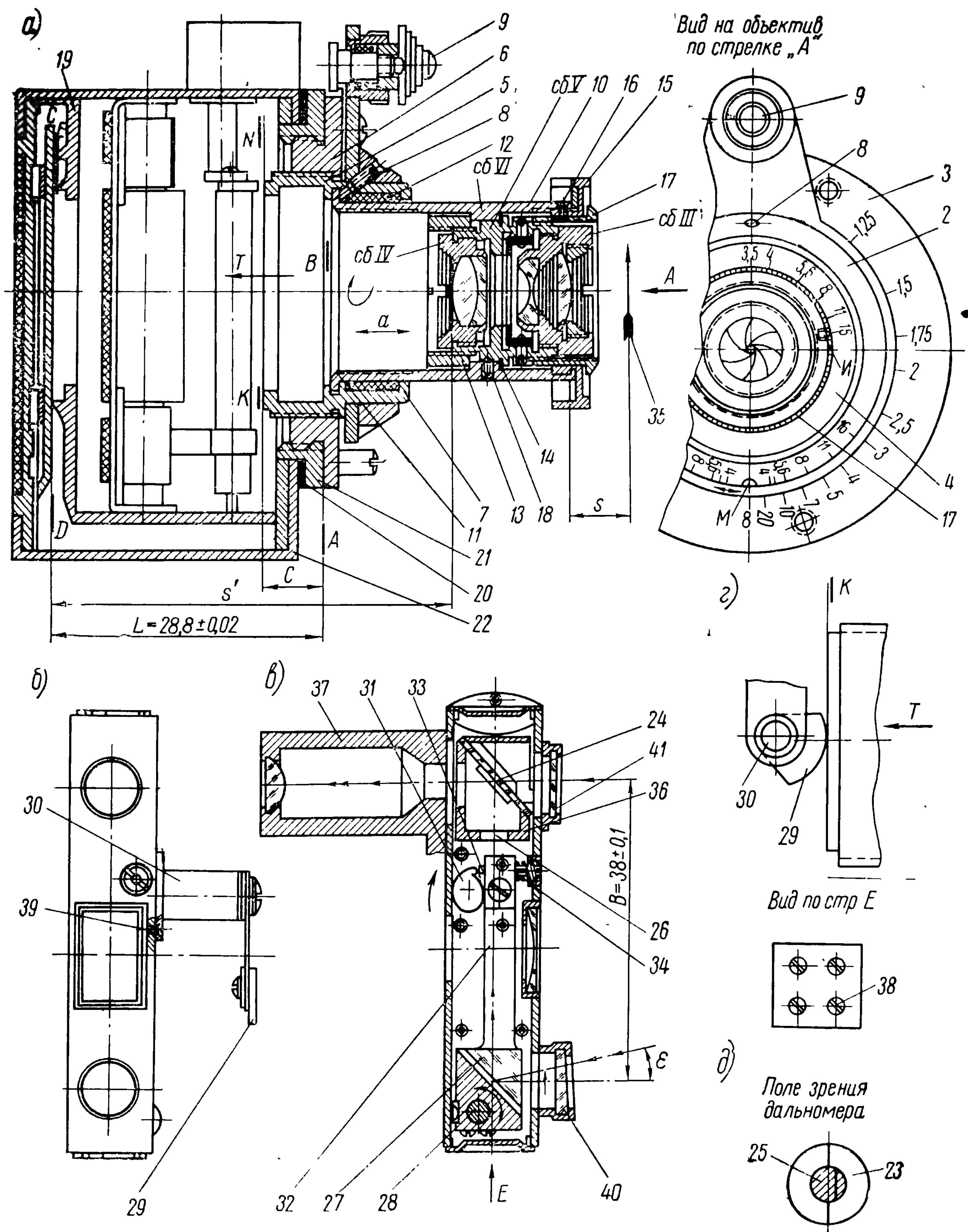


Рис. 69

диафрагмы *6* трубки от поверхностей блока. Добившись совмещения бликов в один неподвижный, фиксируют ось линзы относительно оси шпинделя, опуская и вращая державку *7* с вальцами *8* и закатывая ими буртик *А* оправы линзы, как это показано на рис. 73. Чтобы в процессе завальцовки оправы компо-

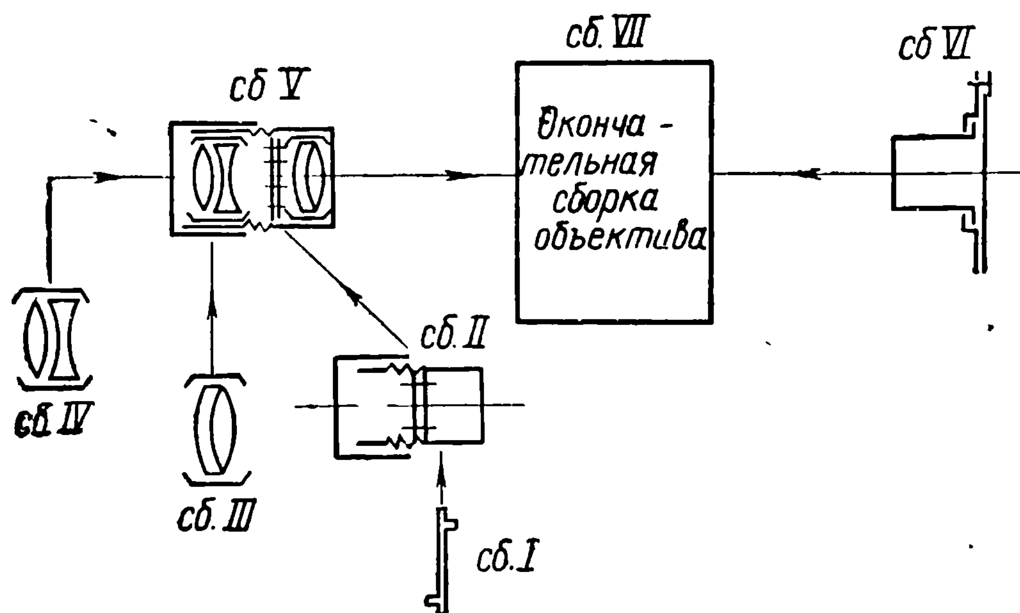


Рис. 70

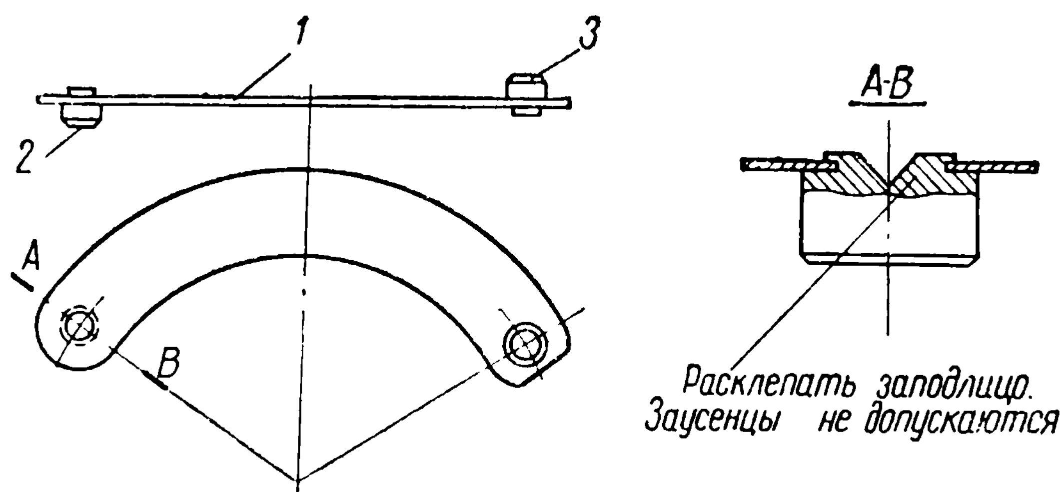


Рис. 71

нент не сдвинулся относительно найденного положения, он фиксируется в оправе стаканом *9* при помощи пружины *10*. Вся операция сборки длится около 1 *мин*. После сборки компонента производится подрезка торца *N* оправы. Биение торца *N* относительно оси резьбы оправы и оси посадочного диаметра склеенного компонента должно быть не более 0,02.

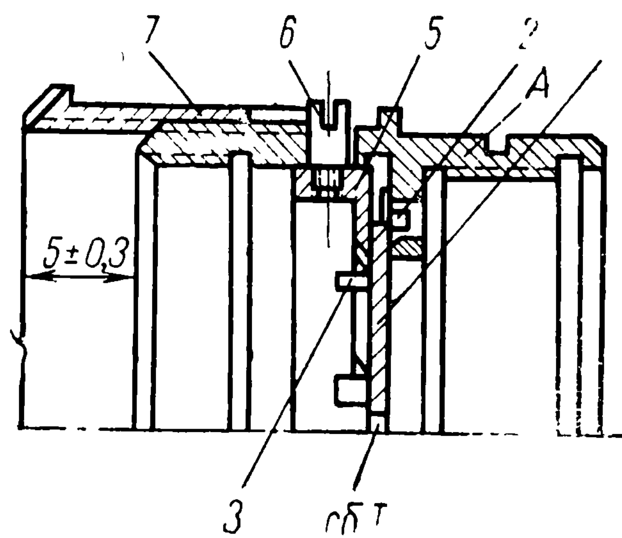


Рис. 72

Перед завальцовкой отрицательной линзы в оправе в сборке *III* выдерживается воздушный промежуток *d* (см. рис. 64,*б*) с точностью ±0,05. Размер этот устанавливается по комплектационной ведомости и обеспечивается проточкой оправы отрицательной линзы с одновременной расточкой посадочного места для положительной линзы. Контроль размера *d* осуществляется индикатором *1* (рис. 74), корпус которого вводится в посадочное место под положительную

линзу так, что щуп *2* упирается в эталонную отрицательную линзу *3*, удерживаемую рукой рабочего. После этого в сборке *III* завальцовывается отрицательная линза аналогично сборке склеенного компонента сборки *IV*.

Закрепление положительной линзы и центрировка ее относительно оси отрицательной линзы и оси оправы сборки *III* производятся на оптическом приборе (рис. 75, *а*), предназначенном также и для контроля рабочего отрезка. Сборка *III* устанавливается в оправе *1* прибора. В окуляр *Е* микроскопа *А* наблюдают дифракционное изображение *2″* точечной диафрагмы *2* зрительной трубки *Б*. Перемещением положительной линзы в оправе *1* добиваются хорошего качества изображения точки, после чего закрепляют линзу прижимным кольцом. При невозможности хорошо отцентрировать линзу ее заменяют другой. Протачивают торцовую поверхность N_1 оправы (рис. 64,*б*), выдерживая размер 6,09±0,03.

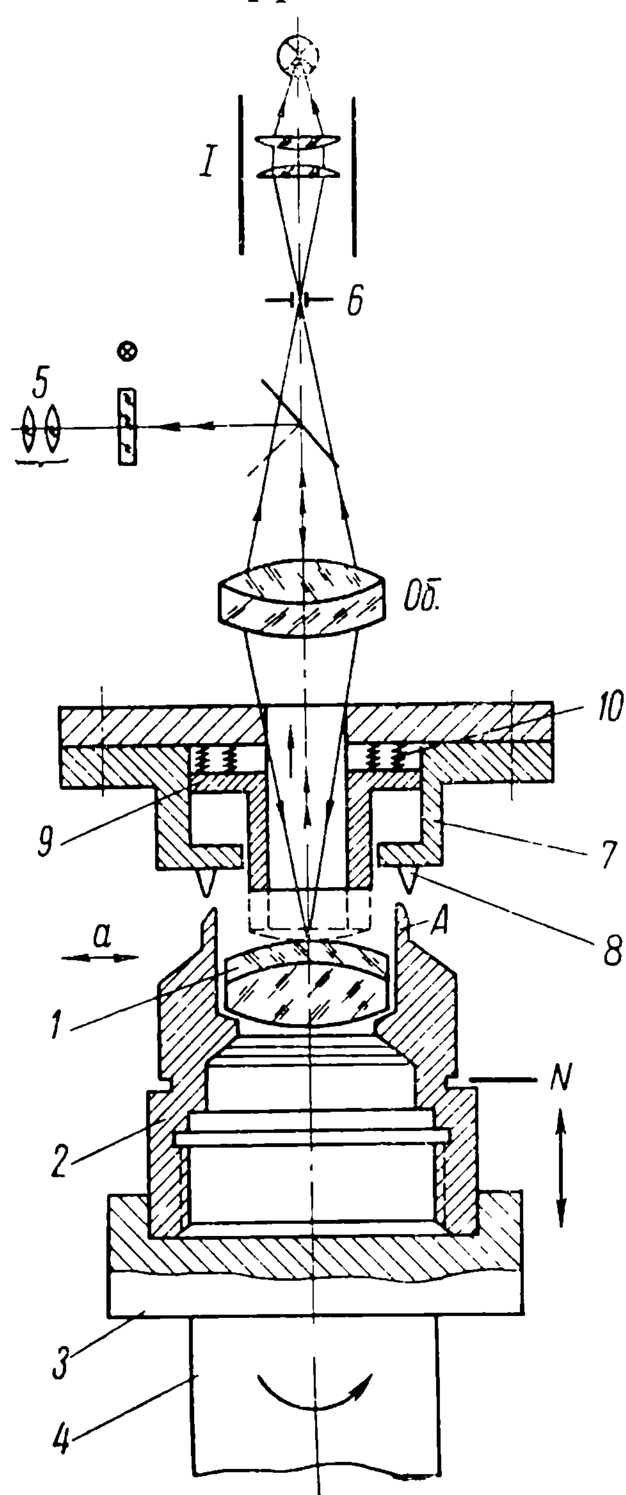


Рис. 73

Сборка *V* — блок объектива (см. рис. 64,*б*). Путем подбора сборок *III* и *IV* в пределах комплектационной ведомости выдерживают размер 5,05±0,1 и

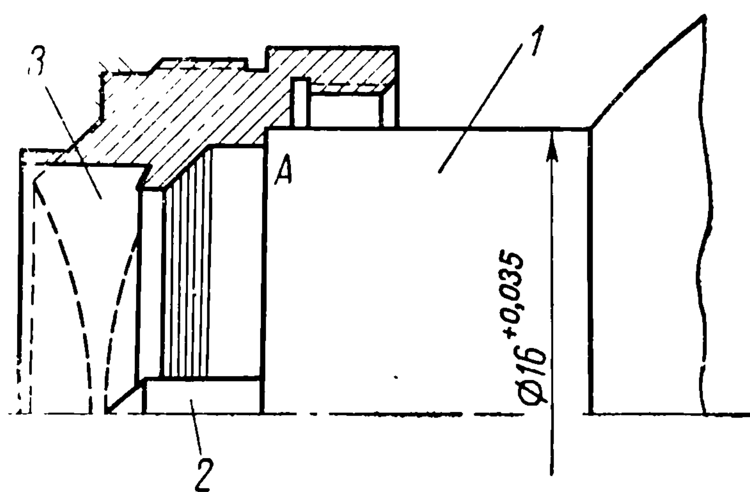


Рис. 74

центрируют весь блок. При этом допускается разворот положительной линзы. Поскольку диафрагма находится внутри объектива, установка сборок *III* и *IV* производится с обоих концов блока. Центрировка объектива производится по изображению дифракционной точки (см. § 10). Проводится контроль центрировки блока, разрешающей силы и фокусного расстояния, чистоты поверхности линз и оправ.

Сборка *VI* — переходная оправа объектива (см. рис. 69, *а*). Процесс сборки должен обеспечить:

1) правильное положение шкалы *2* глубины резкости по отношению дальномерной шкалы *3* (индекс *М* первой шкалы должен быть совмещен с риской ∞ на второй). Это достигается разворотом шкалы *2* относительно корпуса *7* объектива с торцом *К* и фиксированием кольца *2* стопорным винтом *8*;

2) величину вылета *С* с торца *К* при установке шкалы дистанций относительно индекса *М* шкалы *2* глубины на ∞, 4, 2

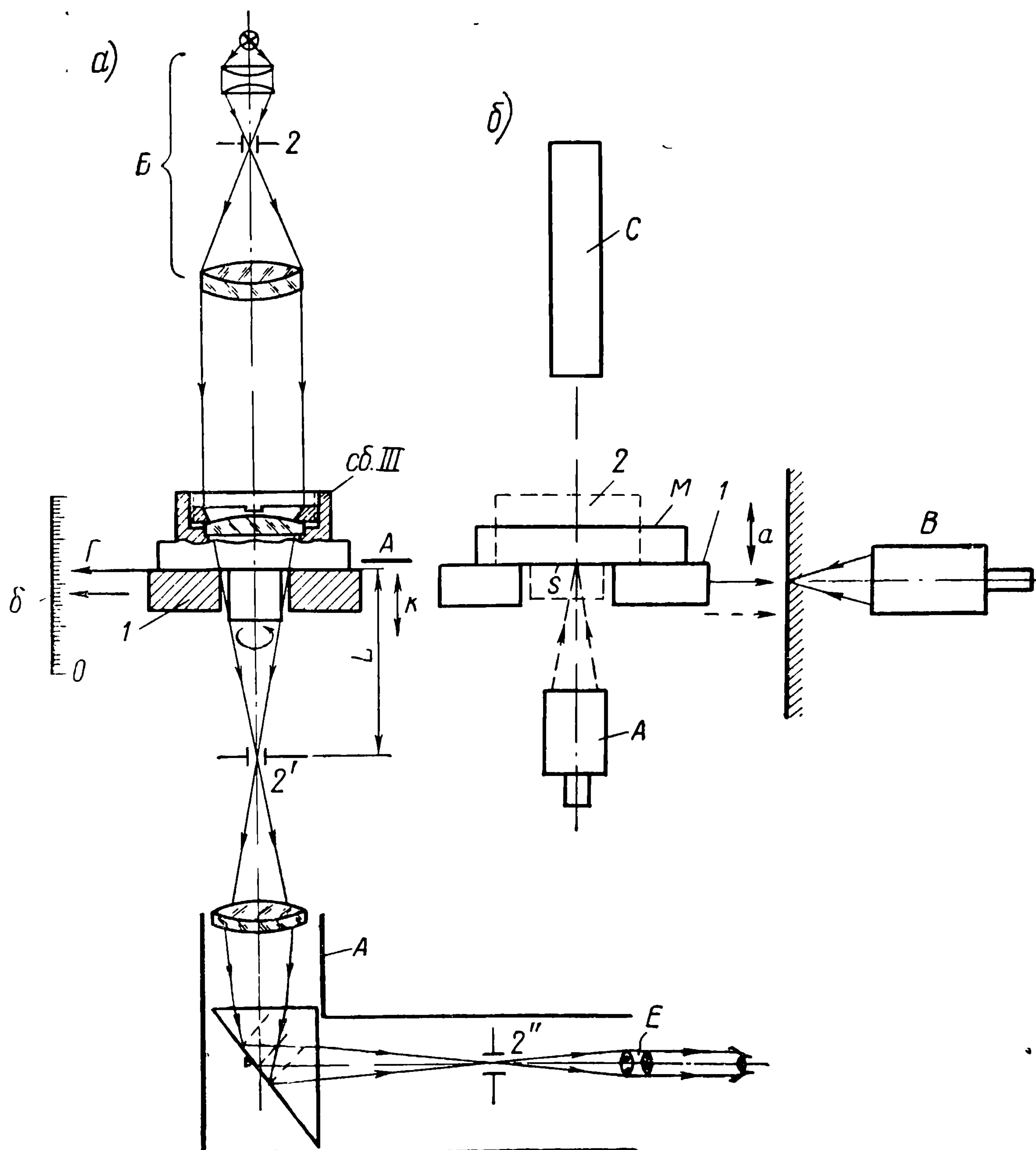


Рис. 75

и 1 *м*. При этом биение торца *В* относительно торца *А* должно быть не более 0,02;

3) плавное перемещение корпуса *7* относительно фланца *6* по резьбе;

4) правильную работу кнопки *9* (поводка), т. е. чтобы она автоматически, плавно, без заеданий фиксировала индекс *М* относительно риски ∞;

5) чтобы оправа *10* объектива плотно входила байонетными

фланцами *11* в паз корпуса *7* без качки, а также плавно выходила из паза при повороте и плавно перемещалась по стрелке *Т* при вдвижении объектива в камеру при хранении аппарата;

6) герметичность узла сальником *12*.

Все перечисленные операции относятся к механической сборке прибора.

Сборка *VII* — окончательная сборка объектива (см. рис. 69, *а*). На этом этапе сборки необходимо выдержать:

1) рабочий отрезок $L = 28{,}8 \pm 0{,}02$;

2) правильное положение шкалы диафрагм *4* относительно индекса *М* и детали *3*;

3) закрепление блока объектива (см. рис. 64, *б*) в его оправе *10* (см. рис. 69, *а*).

Блок объектива вводится в корпус *10* и фиксируется резьбовым кольцом *13*. После этого проверяется и обеспечивается рабочий отрезок *L* (см. рис. 67, *б*). Как видно из рис. 69, *а* и 67, *б*, отрезок *L* связан с расстоянием S', которое по существу и определяет правильное положение изображения объектива на пленке.

Эта операция выполняется на приборе, схема которого приведена на рис. 75, *а* и *б*.

В оправку *1* помещается эталонный объектив (на рис. 75, *а* показана сборка *III*) с точно выдержанным рабочим отрезком *L*. Перемещая оправку *1* по стрелке *к*, фокусируют микроскоп *А* на резкое видение изображения *2'* миры *2* и берут отсчет по шкале *б* относительно индекса *Г*, связанного с оправкой *1*, это будет значение рабочего отрезка. Сняв эталонный объектив с оправки *1*, устанавливают в нее испытуемый объектив. Если рабочий отрезок L_1 (на рисунке не показан) данного объектива не равен рабочему отрезку *L* эталонного объектива, то изображение миры будет видно в микроскоп нерезко. Перемещая оправку *1*, добиваются резкости изображения миры и берут отсчет по шкале *б*, определяя фактический размер рабочего отрезка относительно торца *А*. Разницу в размерах $L_1 — L$ устраняют перемещением блока объектива при помощи прокладочного кольца *14* (рис. 69, *а*) с высотой, равной $L_1 — L$.

Контроль рабочего отрезка может быть выполнен и на приборе (рис. 75, *б*), сходном с описанной установкой. В этом случае для определения размера *L* на оправку *1* помещается плоское зеркало *М*, поверхность *S* которого точно совпадает с торцом оправки *1*. Перемещением оправки (по стрелке *а*) фокусируют микроскоп *А* на резкое видение поверхности *S*, для чего на ней наносят, например, чернильное пятно. При этом берется первый отсчет по полю зрения второго микроскопа *В*. Установив испытуемый блок *2* с объективом, перемещением оправки *1* добиваются резкого видения в микроскоп *А* изображения миры

коллиматора *C* и берут второй отсчет микроскопом *B*. Разность этих двух отсчетов, очевидно, и дает искомый рабочий отрезок *L*.

Обеспечение отрезка *L* путем подрезки торца *M* производится на установке, принципиальная схема которой показана на рис. 76. Собранный объектив *4* закрепляется в патроне *3*, установленном на пустотелом шпинделе *2* токарного станка, в котором смонтирован коллиматор *1*. Микроскоп *7* закрепляется на суппорте станка и фокусируется на некоторую плоскость *TT*. На расстоянии *L* (равном длине рабочего отрезка) от этой плоскости закреплен резец *6*. Перемещая суппорт с микроскопом

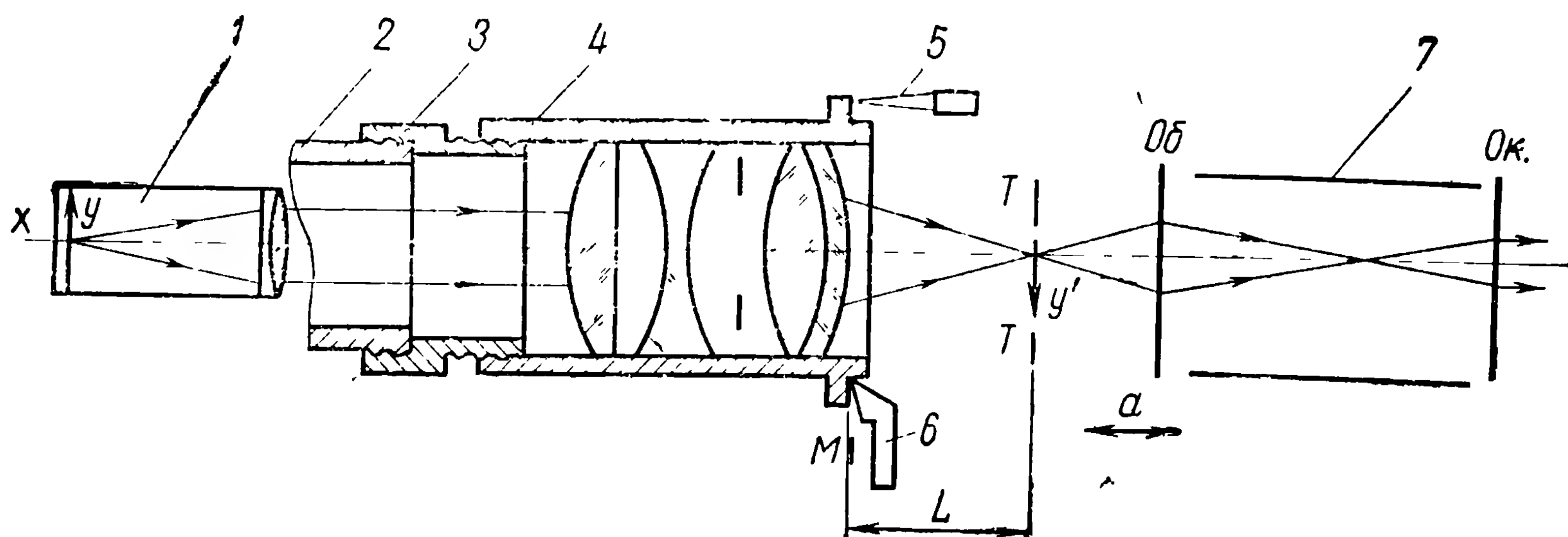


Рис. 76

и резцом (по стрелке *а*), подрезают плоскость *M* фланца объектива до тех пор, пока изображение *y'* сетки *y* коллиматора не совпадет с плоскостью *TT*. Индикатором *5* проверяют биение торца *M*.

Вынув блок объектива с оправой *10*, ввертывают в нее втулку *15* (см. рис. 69, *а*), при помощи которой оправа *10* вместе с блоком может удобно поворачиваться в корпусе *7* и вдвигаться внутрь аппарата (по стрелке *а*) при хранении. Крепление втулки *15* к оправе *10* осуществляется винтом *16*. Ставят блок в оправу *10*, закрепляя его кольцом *13*.

Вращением детали *17* (на рис. 64, *в* она обозначена *7*) устанавливают наименьший диаметр диафрагмы и, разворачивая блок в оправе *10*, устанавливают индекс *И* на детали *17* против деления *16* шкалы *4*. Данное положение блока в оправе фиксируют стопорным винтом *18* (рис. 69, *а*).

Сборка объектива при проточке оправ по калибрам.

В этом случае центрировка линзовых компонентов относительно оправы *А* (рис. 64, *б*) обеспечивается точной расточкой оправ линз по второму классу точности.

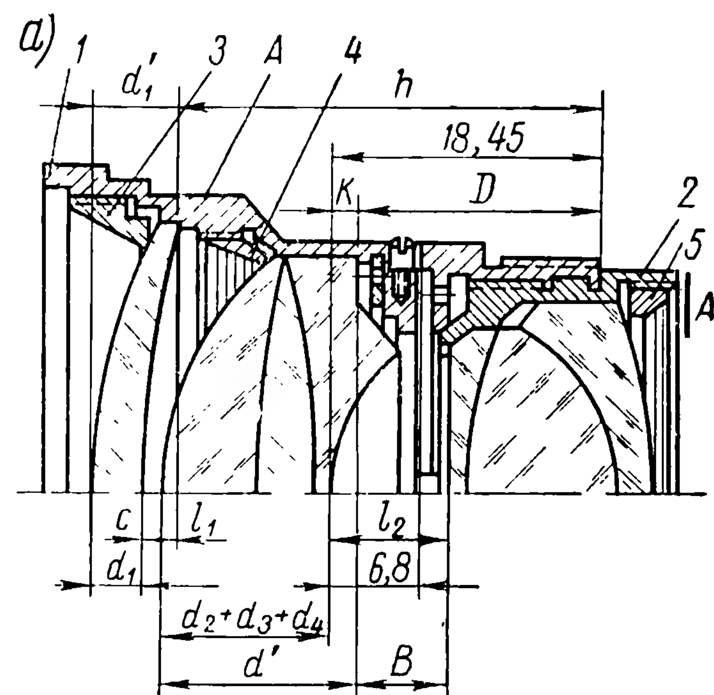
В качестве примера рассмотрим применение данного метода сборки к блоку трехкомпонентного объектива (рис. 77, *а*). В соответствии с комплектовочной ведомостью рассчитываются все

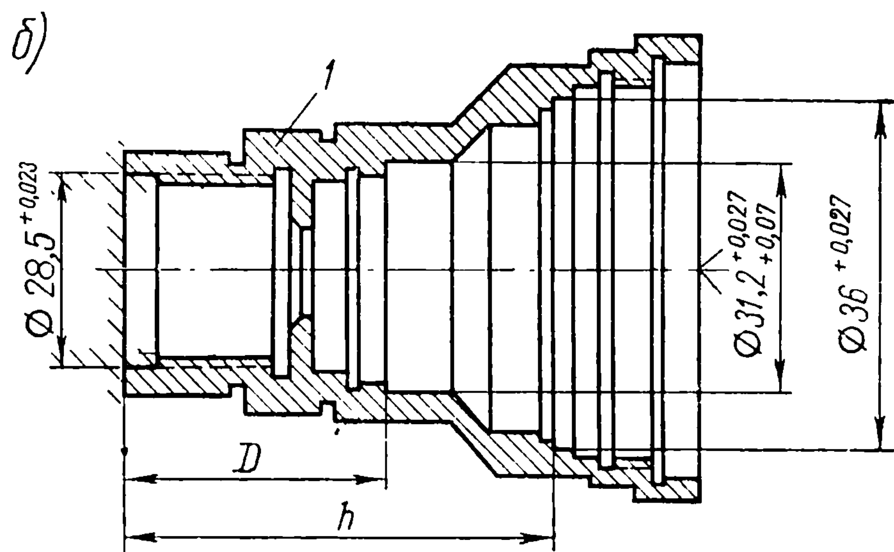
размеры, необходимые для обеспечения воздушных промежутков между линзовыми компонентами:

$$C = d_1' - d_1;\ K = d' - (d_2 + d_3 + d_4);\ D = 18{,}45 - K;$$

$$h = 18{,}45 + (d_2 + d_3 + d_4) + l_1 - C;\ B = l_2 - K.$$

Механическая предварительная сборка блока заключается в обеспечении размеров оправ *1* и *2* (рис. 77, *б* и *в*). Оправа *2* (рис. 77, *в*) растачивается после комплектовки ее с оправой *1* по резьбе без качки и относительно базовой поверхности ⌀ 31,2+0,027 оправы *1*. Комплектуются по резьбе детали *1*, *3* и *4*, а также *2* и *5* (рис. 77, *а*). Собирается узел диафрагмы (см. рис. 64, *б*). Выполняется окончательная сборка блока. Центровка блока уточняется обычно разворотом одиночной положительной линзы.





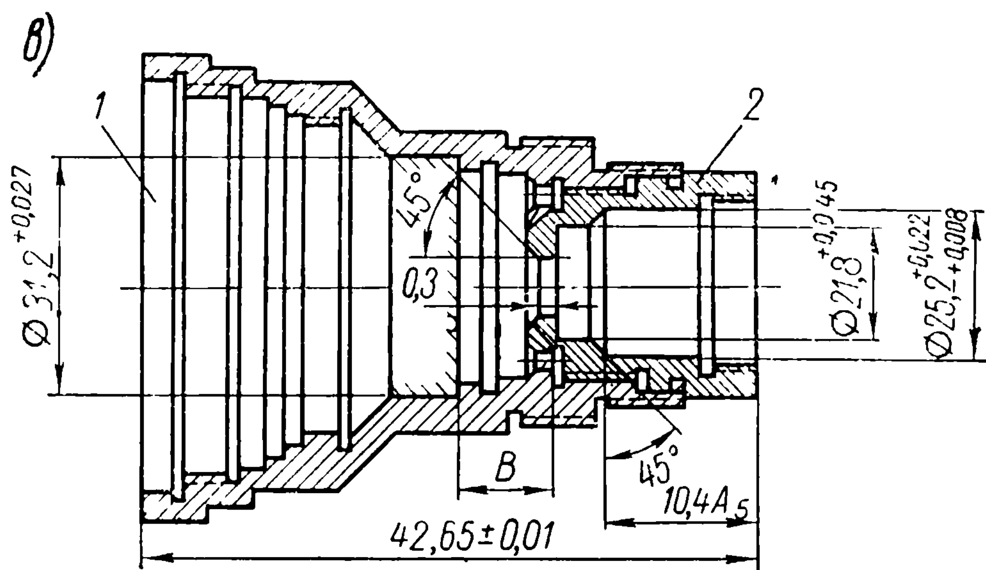


Рис. 77

§ 33. Сборка фото- и кинообъективов в насыпной оправе

В общих чертах процесс такой сборки протекает следующим образом. Поверхность *С* оправы *А* (см. рис. 65 и 66) растачивается в механическом цехе окончательно. Линзовые компоненты собираются завальцовкой в оправах в сборочном цехе, образуя сборки *I*, *II*, *III* и *IV* (см. рис. 65) и сборки *II* и *III* (см. рис. 66). Центровка каждого компонента выполняется автоколлимационным методом (см. § 10, рис. 24,*б*); после центровки с одной установки протачивается поверхность *С* и подрезаются торцы *М* оправ под соответствующие размеры, обеспечивая тем самым при сборке заданные воздушные промежутки между линзами.

Для ускорения процесса завальцовки, чтобы исключить перефокусировку трубки Забелина *II* (см. рис. 24, *б*) при центрировке по обеим поверхностям линз, на объектив трубки надевается насадка с двумя блоками полулинз *I* и *II* (рис. 78) (на рис. 24, *б* они не показаны). Фокусные расстояния каждого блока таковы, что в поле зрения трубки одновременно видны два изображения крестика, отраженные от обеих поверхностей центрируемого компонента.

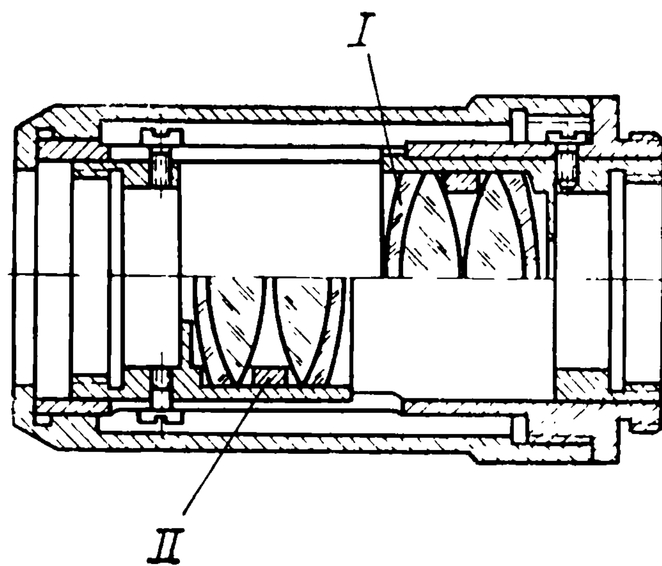


Рис. 78

При сборке компонентов в оправе *А* необходима высокая точность проточки внутренней поверхности *С* этой оправы и наружных торцов *М* оправ линз, обычно по II классу. Собрав узел диафрагмы — сб. *V* (см. рис. 65), устанавливают с двух сторон в оправу *А* объектива сборки *I*, *II*, *III* и *IV* и поджимают их кольцами *1* и *3*. Окончательная центрировка объектива достигается разворотом одного из положительных компонентов. Этот метод обеспечивает высокую точность центрировки (до 5 *мкм*), но трудоемок по центрировке линзовых компонентов и требует сложной оснастки.

§ 34. Сборка зеркально-линзовых объективов

Применение в объективе зеркала в качестве одного из его компонентов позволяет улучшить коррекцию объектива, упростить его конструкцию и увеличить светосилу. Однако наличие зеркала существенно затрудняет центрировку объектива при сборке, так как поворот зеркала вызывает двойное отклонение визирного луча.

В качестве примера рассмотрим юстировку объектива, созданного по видоизмененной схеме телескопических объективов Д. Д. Максутова (рис. 79, *а*). Объектив обладает весьма большой светосилой (относительное отверстие 1 : 0,75) и применяется для целей флюорографии, где желательна малая экспозиция. При фокусном расстоянии $f' = 182$ *мм* объектив обеспечивает кадр размерами 62×62.

Объектив схематично представлен на рис. 79, *а* и состоит из мениска *1* и компенсатора *2*, исправляющих аберрации зеркала *3*. Передняя поверхность компенсатора — коническая, задняя — плоская. Изображение y' объекта получается на поверхности, проходящей через точку *А*.

Основные задачи сборки прибора заключаются в совмещении центров кривизны поверхностей мениска *1*, вершины *В* ко-

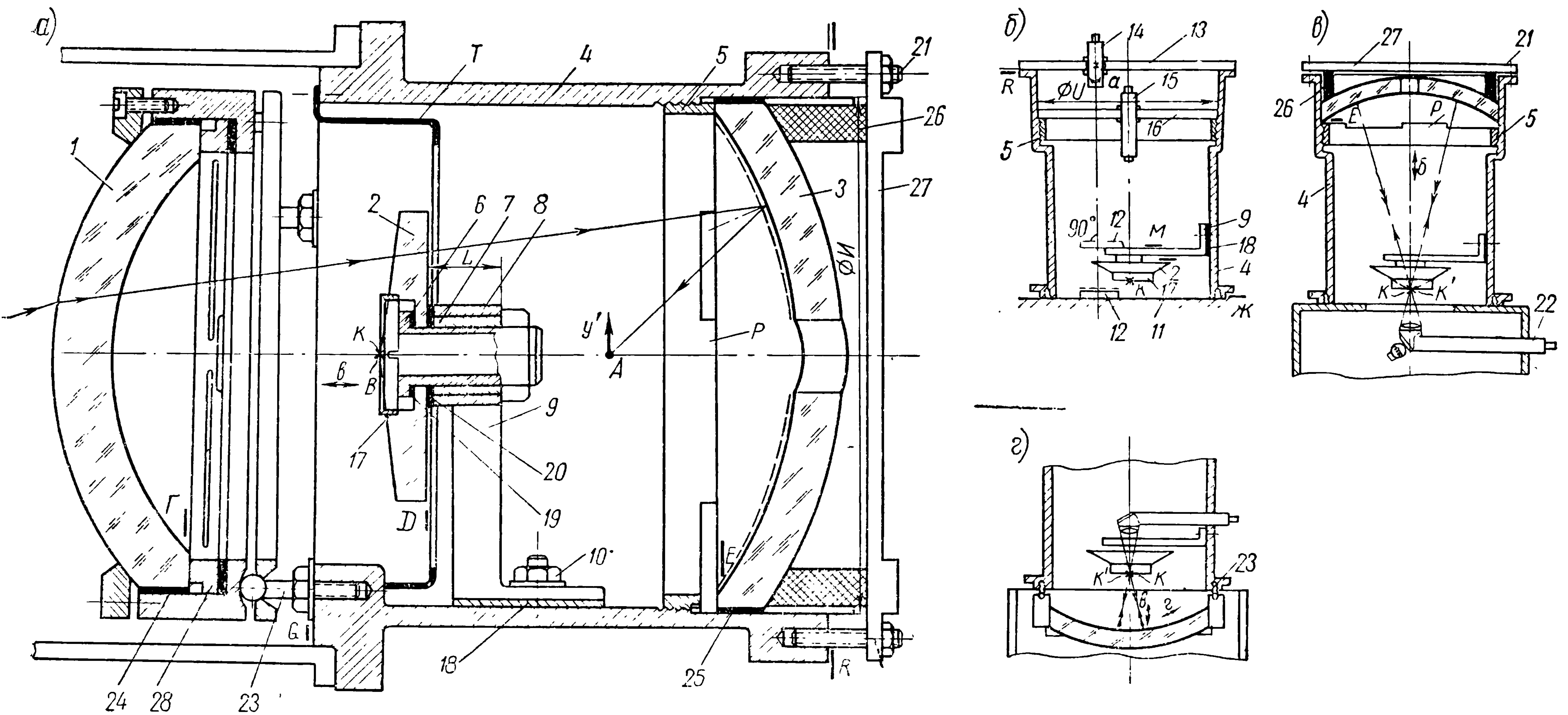


Рис. 79

ической поверхности компенсатора *2* и центра кривизны зеркала *3* и обеспечении перпендикулярности оптической оси системы торцовым поверхностям *G* и *R* корпуса *4* объектива и компенсатора *D*. Основными механическими сборочными базами являются торцовые поверхности *G* и *R* корпуса *4*, его внутренняя поверхность ∅ *И* и резьба под опорное кольцо *5* зеркала.

Сначала устанавливается компенсатор *2*, который надет на эксцентриковую втулку *6*, входящую во втулку *7*. Втулка *7* закреплена во фланце *8* кронштейна *9*, связанного болтами *10* с корпусом *4*. Компенсатор устанавливают так, чтобы вершина *B* его конической поверхности совпала с геометрической осью корпуса *4*, а плоскости *D* и *G* были бы параллельны с точностью 2÷3′. Корпус *4* с предварительно закрепленным кронштейном *9* (без компенсатора) устанавливается плоскостью *G* на точную плиту *11* (рис. 79, *б*). На плиту помещается плоское зеркало *12*, а на плоскость *R* корпуса — фланец *13*, несущий автоколлимационную трубку *14*. Поворотами трубки *14* (по стрелке *а*) устанавливают ее ось нормально плоскости зеркала *12*. Микроскоп *15* помещен в центре фланца *16*, который центрирован относительно оси корпуса *4* размером диаметра *И*. Таким образом, центр сетки микроскопа задает оптическую ось объектива, совпадающую с геометрической осью корпуса *4*. Устанавливают предварительно кронштейн *9* с компенсатором *2*. Ось компенсатора *2* задается перекрестием *К* юстировочной втулки *17* (рис. 79, *а*), совпадающим с вершиной *B* конуса компенсатора. Установив зеркало *12* на плоскость *M* кронштейна *9*, добиваются регулировкой кронштейна (прокладка *18*) перпендикулярности зеркала оси автоколлимационной трубки *14*. Сняв зеркало, добиваются прокладками *19* и *20* (рис. 79, *а*) перпендикулярности плоскости *D* компенсатора оси автоколлимационной трубки. Сфокусировав микроскоп на перекрестие *К*, добиваются разворотами втулок *6* и *7* совмещения изображения креста *К* с центром сетки микроскопа, т. е. устанавливая точку *B* на ось корпуса *4*. При установке компенсатора в кронштейне должен выдерживаться размер *L*, задающий положение точки *B* по оси объектива относительно мениска и зеркала.

Установка зеркала в корпусе осуществляется на приспособлении, показанном на рис. 79, *в*. Перпендикулярность торца *E* зеркала оси корпуса *4* обеспечивается технологическими допусками на перпендикулярность торца *E* зеркала его оси при центрировке в оптическом цехе и перпендикулярностью трех опорных выступов *P* кольца *5* оси корпуса. Следовательно, этими условиями обеспечивается совмещение центра кривизны зеркала с осью корпуса. Совмещение центра кривизны зеркала с точкой *B* компенсатора осуществляется перемещением зеркала по оси корпуса (по стрелке *б*) ввинчиванием в корпус кольца

5 и смещением фланца *26* при помощи фланца *27* и винтов *21* до тех пор, пока автоколлимационное изображение *K'* креста *K*, полученное от зеркала, не совпадает с самим крестом. Наблюдение ведется микроскопом *22*, сфокусированным на крест *K*.

Установка мениска заключается в совмещении центра его кривизны с точкой *B* компенсатора и осуществляется так же, как и для зеркала (рис. 79, *г*), при помощи трех болтов *23* с шаровыми головками, позволяющими смещать мениск в оправе по оси (по стрелке *в*) и наклонять его (по стрелке *г*) относительно корпуса *4*. Мениск и зеркало могут перемещаться в своих оправах за счет прокладок *24* и *25* (рис. 79, *а*). Для уменьшения напряжений в этих деталях при креплении и температурных воздействиях предусматриваются пружинное кольцо *28* и фланец *26* из органического стекла (рис. 79, *а*). Диафрагма *T* служит для ограничений пучков лучей и крепится к корпусу *4* винтами без юстировки.

§ 35. Сборка объективов и окуляров микроскопов

Основные требования к сборке микрообъективов были приведены в § 30. Большинство объективов монтируется в так называемых нормальных оправах для длины тубуса $l = 160$ *мм* при $\Delta = 180$ *мм* (рис. 67, *а*).

Слабые объективы с малыми увеличениями и небольшой апертурой (β до -10, $A \leqslant 0{,}20$) и большим передним отрезком (S_1 до -50 *мм*) конструктивно несложны, не имеют фронтальной линзы и собираются в свинчивающихся оправах. Сборка этих объективов сравнительно проста. Линзы крепятся в оправах завальцовкой и центрируются по оправе (см. § 10 и 26). Рабочий отрезок *L* обеспечивается подрезкой торца *M* оправы (см. рис. 67, *б*).

Объективы средние (β — до -40, A — до 0,65, s — до $-0{,}5$ *мм*) и сильные (β — до -120, A — до 1,61, s — десятые и сотые доли миллиметра) собираются в насыпных оправах. Эти объективы многолинзовые и имеют фронтальную линзу (см. рис. 58, 66, 67, *а*). При сборке широко применяются методы комплектации (см. § 31) и индивидуальной пригонки. Сложные линзовые компоненты обычно предварительно группируются по диаметру через 0,01 *мм*. Наиболее ответственна сборка фронтальной и менисковой линз.

Фронтальные линзы с апертурой менее 1,25 собирают вклеиванием и завальцовкой, а при апертуре более 1,2 — только вклеиванием (см. § 26). При вклеивании линз сначала обеспечивается параллельность торцов *A* и *B* оправы (рис. 80, *а*). Далее растачиваются апертурное отверстие *a* и конусное отверстие *c* под линзу; линза вклеивается, центрируется, после чего весь блок сушится. Весьма важно обеспечить размер *b*, от кото-

рого будет зависеть в дальнейшем воздушный промежуток между фронтальной и следующей линзами объектива. Этот размер обеспечивается глубиной проточки *е* оправы под линзу и выдерживанием размера *С*.

При вклеивании и завальцовке (рис. 80, *б*) также обеспечивается параллельность торцов *А* и *В* оправы и размер отверстия *а*. Расточка конусного отверстия *с* в оправе под линзу должна обеспечить размер *b* при выдерживании размера *а*. Этот размер обеспечивается при контроле положения линзы с помощью индикатора и контролируется коническим шаблоном *М*. Линза при этом вводится в отверстие оправы на ручке *N*, к которой она приклеена. Далее подготовляется буртик *Т* для завальцовки; линза вклеивается и завальцовывается. Центрировка может выполняться методом блика и автоколлимационным способом.

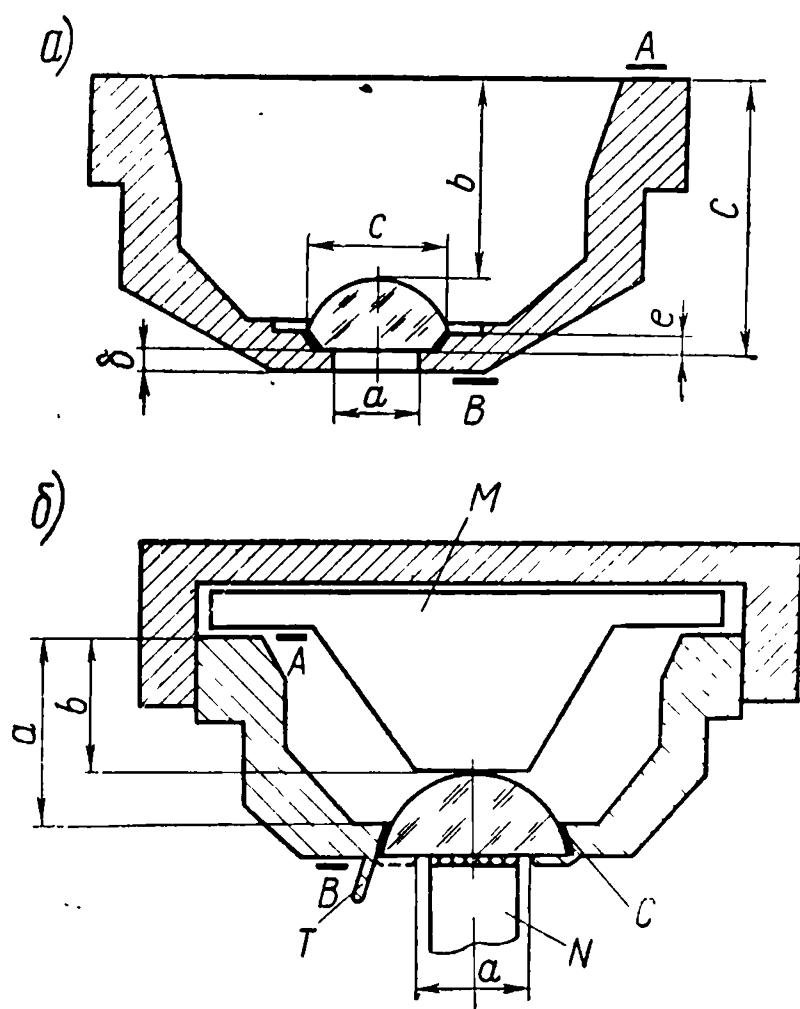


Рис. 80

Завальцовка других линзовых компонентов объектива производится в настоящее время главным образом с центрировкой по линзе с трубкой Забелина (см. § 10).

Для того чтобы облегчить процесс центрировки объектива с обеспечением хорошего качества изображения и разрешающей силы, в процессе центрировки перемещают одну из линз объектива, например мениск (в сухих системах), или вторую, или третью линзу (в иммерсионных). Для достижения этой цели диаметр оправы такой линзы (например, *К* на рис. 66) выдерживают несколько меньше, чем у других оправ. В наружной оправе *А* объектива имеются четыре отверстия *а* *. В эти отверстия при помощи специального приспособления, надеваемого на оправу, вводятся четыре юстировочных винта, при помощи которых оправа с линзой может перемещаться перпендикулярно оси системы. В некоторых случаях для облегчения коррекции сферической аберрации при сборке одна из линз объектива может перемещаться по оси объектива, изменяя ширину воздушного промежутка.

Астигматизм устраняется разворотами линз относительно друг друга. При центрировке добиваются нужного качества изображения, которое оценивают по дифракционному изображе-

* После юстировки эти отверстия замазываются специальной мастикой.

нию светящейся точки, сравнивая его с качеством изображения эталонного объектива. Все объективы, входящие в комплект к микроскопу, должны быть центрированы относительно оси тубуса микроскопа и иметь постоянный рабочий отрезок L.

Проверка центрировки объектива и длины рабочего отрезка производится на контрольном микроскопе с эталонными объективом и окуляром. При этом окуляр должен иметь сетку с перекрестием, а объект (препарат) — кружок. Перемещением препарата и фокусировкой микроскопа при помощи грубой подачи добиваются, чтобы центр кружка совпадал с центром перекрестия сетки; при этом микроподача установлена на нуль. Если испытуемый объектив центрирован правильно, то при установке его вместо эталонного центр кружка не сместится относительно центра сетки. Если при установке испытуемого объектива резкость изображения препарата не нарушилась, то значит, что рабочий отрезок правилен. В ином случае добиваются резкого видения изображения препарата путем фокусировки при помощи точной подачи. Отступление величины ΔL определяется по числу делений маховичка механизма точной подачи.

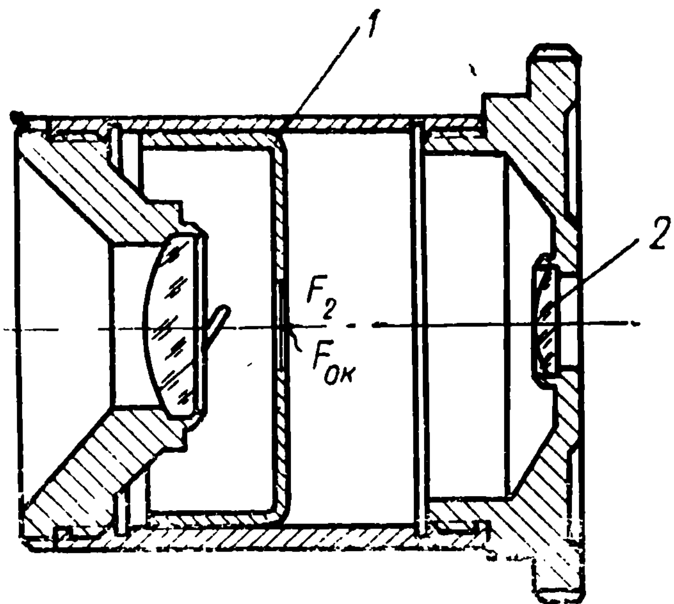


Рис. 81

Подрезка торца M оправы объектива производится примерно так же, как было объяснено в § 32 (рис. 76), и должна быть обеспечена перпендикулярность его оси объектива.

Поскольку в ряде случаев качество изображения объектива коррегируется совместно с качеством изображения окуляра (компенсационные окуляры), необходимо вести испытания объектива с соответствующим окуляром.

Сборка окуляров микроскопов выполняется так же, как и сборка окуляров телескопических приборов (см. § 28).

В окуляре Гюйгенса (рис. 81) необходимо правильно установить диафрагму *1* поля зрения в передний фокус глазной линзы *2*, совпадающий с передним фокусом всего окуляра. Это можно выполнить при помощи диоптрийной трубки (см. § 9). Если диафрагма установлена правильно, то ее изображение резко видно в диоптрийную трубку при нулевом отсчете ее шкалы.

§ 36. Контроль сборки фото-, кино- и микрообъективов

Контроль фото- и кинообъективов

У всех собранных объективов проверяются: 1) центрировка; 2) качество изображения; 3) разрешающая способность; 4) фо-

кусное расстояние; 5) рабочий отрезок; 6) правильность работы дистанционной шкалы.

Сущность контроля центрировки описана в § 10; о контроле рабочего отрезка сказано в § 32 и 35.

Фокусное расстояние должно быть выдержано с точностью $\pm 1\%$ и проверяется на оптической скамье по методу измерения поперечного увеличения.

Измерение фокусного расстояния может быть выполнено для объекта, находящегося в бесконечности и на конечном расстоянии. В первом случае (рис. 82, *а*) должно быть

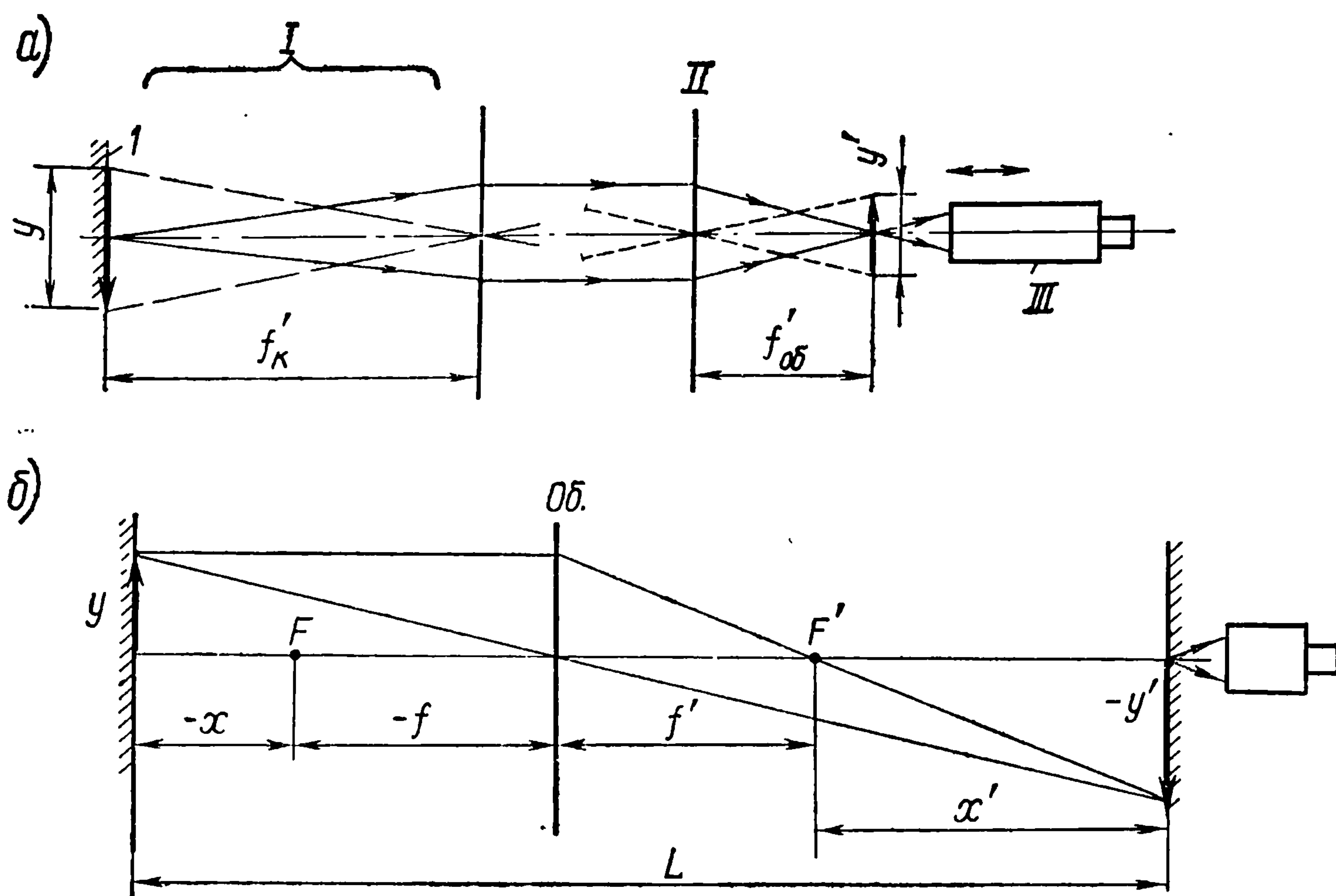


Рис. 82

известно фокусное расстояние $f_К'$ объектива коллиматора *I*, а также величина объекта y и его изображения y', даваемого контролируемым объективом *II*. В качестве объекта используется шкала *1* с известной ценой деления, помещенная в заднем фокусе объектива коллиматора *I*. Поместив испытуемый объектив *II* перед объективом коллиматора, фокусируют микроскоп *III* на резкое видение изображения y' шкалы y; величина изображения y' измеряется с помощью окулярного микрометра.

Искомая величина фокусного расстояния объектива

$$f'_{об} = \frac{y'}{y} f'_К. \qquad (129)$$

Не имея коллиматора, можно определить $f'_{об}$, выбрав на скамье расстояние L от шкалы объекта y до ее изображения y'

(рис. 82, *б*). Тогда

$$f'_{об} = \frac{L\beta}{(1-\beta)^2}. \qquad (130)$$

где β — поперечное увеличение системы, равное $\frac{y'}{y}$.

Контроль дистанционной шкалы (см. рис. 69) производится на оптической скамье при помощи автоколлимационной установки, схематично представленной на рис. 83, *а* и *б*. Источник света *1* освещает прозрачные штрихи сетки *2*. Объектив *3* устанавливается по отношению к сетке *2* так, чтобы его задний фокус F' либо совпадал с сеткой, либо находился от нее на определенном расстоянии x'.

В первом случае из объектива будут выходить параллельные пучки лучей, что будет соответствовать дистанции ∞. Значения отрезков x' должны обеспечить сходимость лучей после

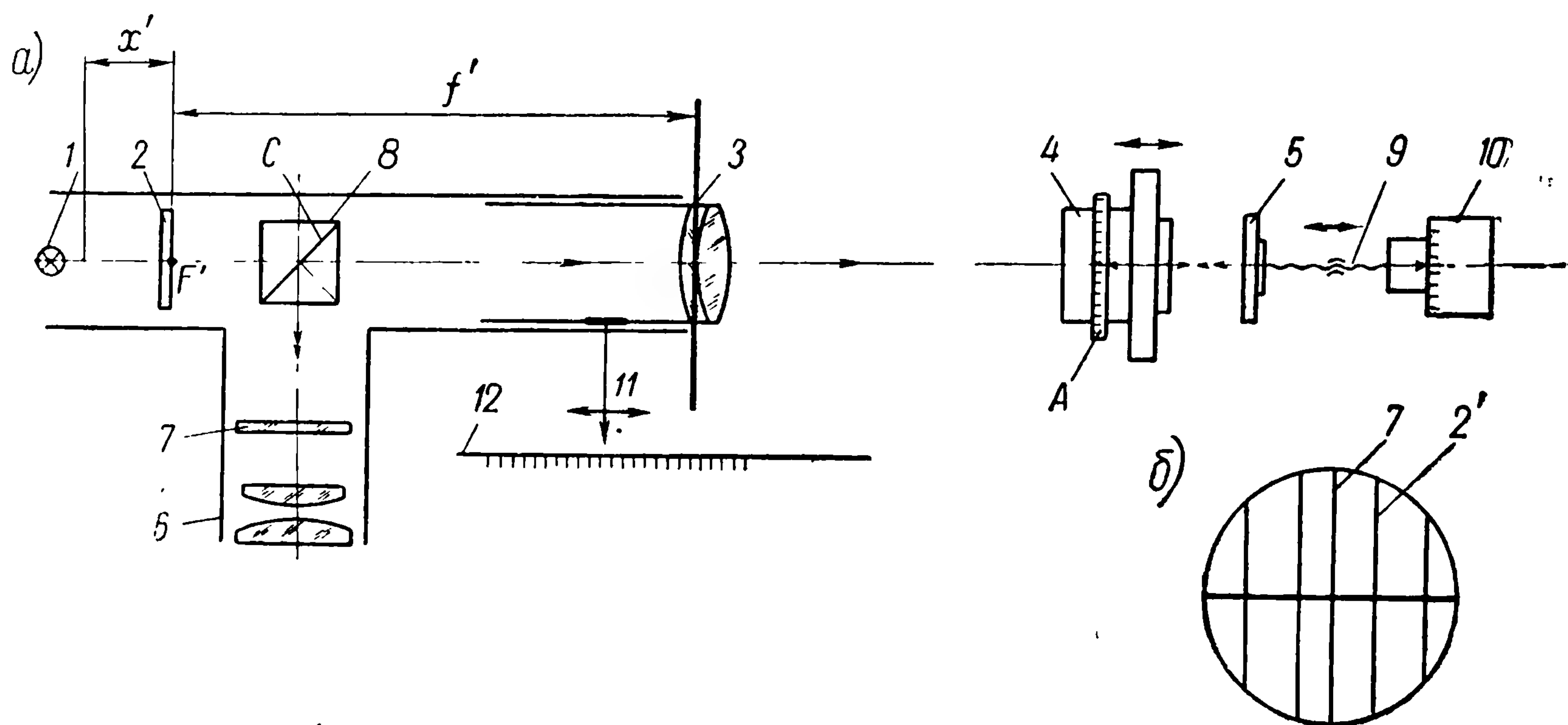


Рис. 83

объектива, соответствующую дистанциям, отмеченным на шкале *А* * испытуемого объектива *4*.

Зеркало *5* дает автоколлимационное изображение *2'* штрихов сетки *2* в поле зрения окуляра *6* в плоскости сетки *7* (рис. 83, *б*) при помощи кубика *8* с полусеребряной гранью *С*. Зеркало *5* перемещается по оси системы при помощи микрометренного винта *9*, а величина перемещения отсчитывается по микрометру *10*. Перемещение объектива *3* относительно сетки *2* на величину x' отмечается индексом *11* по шкале *12*. При установке объектива *3* по шкале *12* на индекс ∞ автоколлимационное изображение *2'* сетки *2* должно быть резко видно в поле зрения окуляра без испытуемого объектива и с ним. При контроле других делений дистанционной шкалы объектив *3* устанавли-

* Шкала рассчитывается по формуле Ньютона: $xx' = -(f')^2$.

вается по шкале *12* на проверяемую дистанцию, а испытуемый объектив — на аналогичное деление дистанционной шкалы *А*. Если показания ее правильны, то изображение штрихов сетки должно быть видно резко.

Основы методов контроля качества изображения и разрешающей силы освещены в § 12. В некоторых случаях при помощи фотографического испытания проверяется рабочий отрезок *L* объектива. В центре поля (рис. 84) устанавливают ряд мир, располагая их ступеньками на некоторых расстояниях Δ

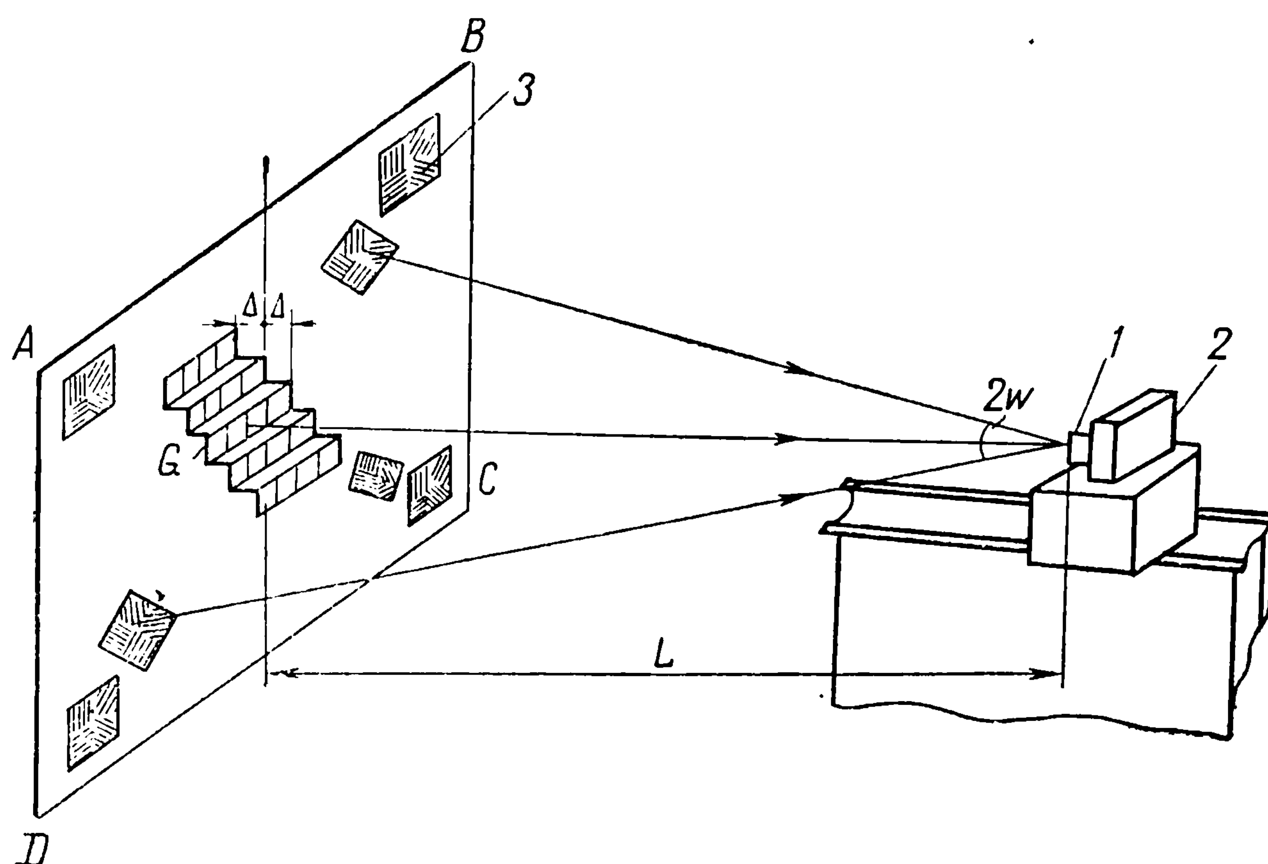


Рис. 84

от плоскости *ABCD* наводки. Если рабочий отрезок испытуемого объектива в допуске, то при фотографировании плоскости *ABCD* на снимке наилучшим образом должны разрешаться штрихи мир ряда *G*, совпадающего с плоскостью *ABCD*. При неправильном рабочем отрезке хорошо будут разрешаться штрихи мир какого-либо другого ряда — ближе или дальше от плоскости *ABCD*. Зная расстояние Δ между рядами мир, можно вычислить величину исправления рабочего отрезка испытуемого объектива. Полученные снимки оцениваются наблюдением при помощи бинокулярного микроскопа.

В ряде случаев у объективов проверяется перекос изображения. В идеально центрированной оптической системе плоскость (имеется в виду, что коррекция системы обеспечивает плоское поле) изображения *M* объекта нормальна оптической системе (рис. 85, *а*). Вследствие децентрировки отдельных компонентов благодаря их линейным смещениям или наклонам (рис. 85, *б* и *в*) плоскость практического изображения *N* наклоняется по отношению к идеальному положению плоскости *M* на некоторый угол $\pm\varepsilon$, а центр изображения смещается относительно оси

системы на линейную величину Δ. Указанное явление называется **перекосом изображения**. Оно вызывает обычно меньшую резкость изображения на краю поля по отношению к центру.

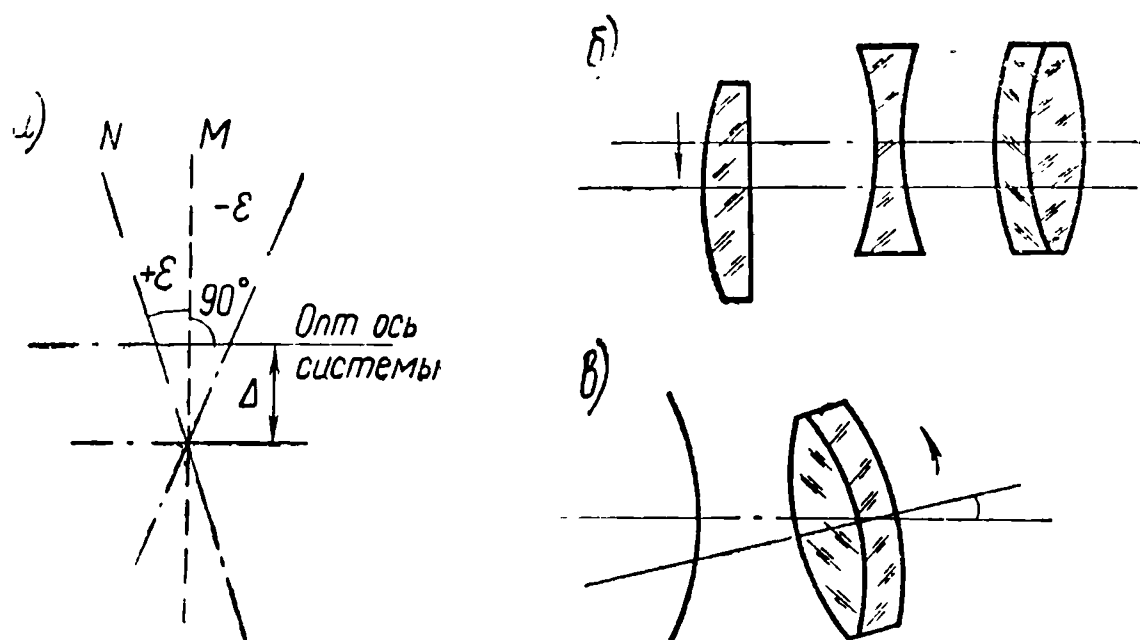


Рис. 85

Контроль микрообъективов

Основной проверкой является контроль разрешающей силы объектива. Проверяют также поперечное увеличение или фокусное расстояние объектива и его апертуру.

Фокусное расстояние объектива может быть определено различными способами. Один из них описан выше при контроле фотообъективов. Апертуру измеряют на апертометрах, например апертометре Аббе [2].

Поперечное увеличение определяется по формуле $\beta = \frac{y'}{y}$, где y — величина объекта, а y' — величина его изображения. В качестве объекта берут шкалу с известной ценой деления. Изображение y' можно измерить динаметром (см. § 4). Можно определить увеличение объектива и по формуле (14), зная увеличение Г окуляра. Измерив увеличение микроскопа $Г_М$, делят его значение на увеличение окуляра и получают искомое увеличение объектива.

Контроль разрешающей силы и качества изображения микрообъектива производится по дифракционному изображению точки (см. § 10). Для этого применяются специальные препараты (естественные и искусственные), детали которых могут служить точечными объектами. Например, в качестве естественных препаратов при контроле средних и сильных сухих объективов применяют крылья бабочек (Hipparchia janira).

Искусственными препаратами являются различные пластинки со шкалами (рис. 86, *а* и *б*) или со слоем серебра, в котором имеются точки и царапины с размерами не более 1 *мкм* (для

средних и сильных объективов). Изображения этих препаратов рассматриваются в микроскоп при установке испытуемого объектива. Разрешающая сила определяется различимой структурой изображения объекта; качество изображения оценивается

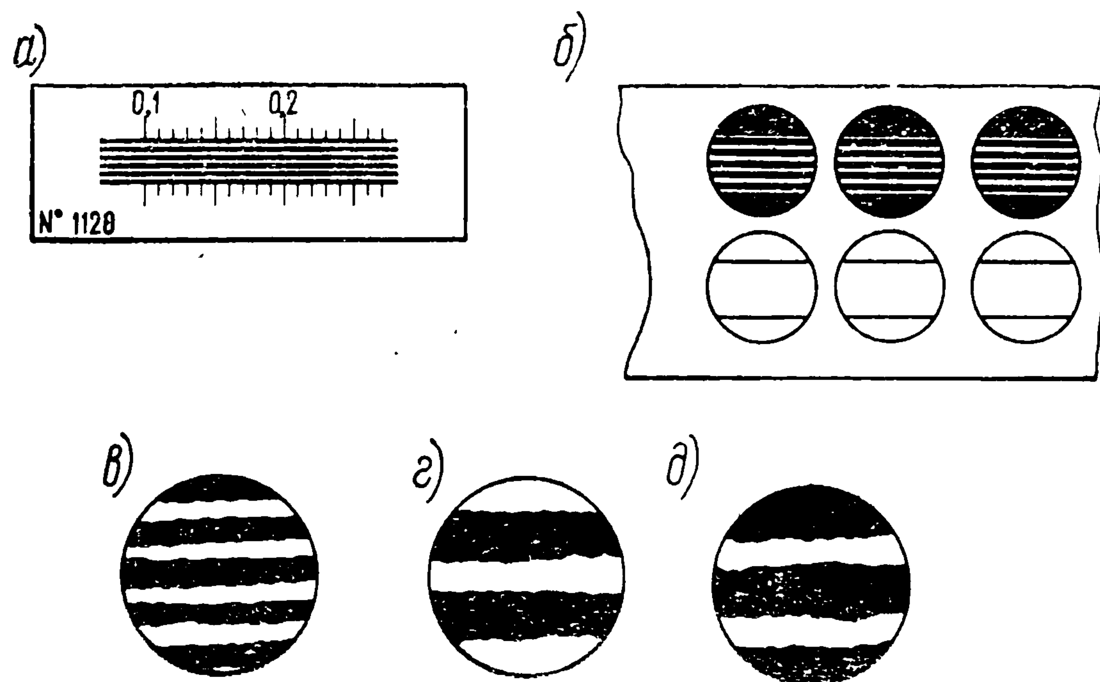


Рис. 86

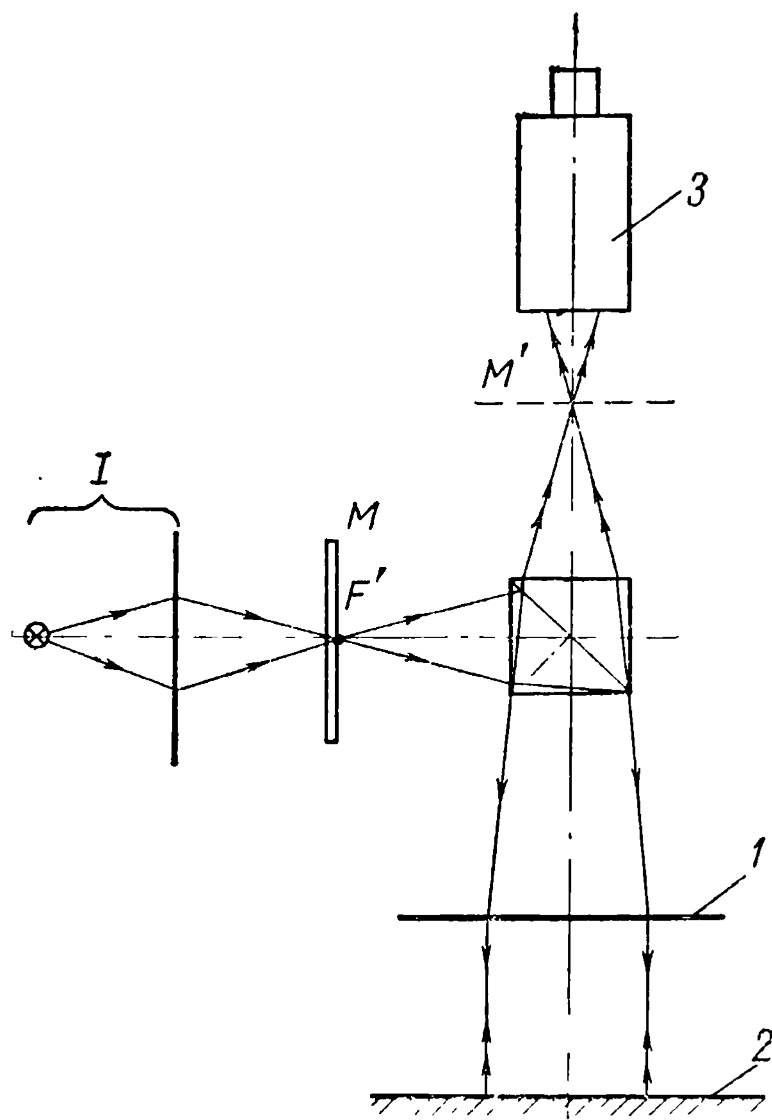


Рис. 87

по степени резкости, окрашенности и искажения структуры при различных условиях освещения препаратов.

Остановимся на контроле качества изображения при помощи препарата, схематично изображенного на рис. 86,*б*. Препарат состоит из шести маленьких покровных стеклышек, наклеенных на большое плоское стекло. На нижних поверхностях стеклышек нанесен слой серебра, на котором процарапаны тончайшие штрихи. Слой серебра настолько тонок, что видны отдельные зерна серебра. Меняя освещение (центральное и косое) и поворачивая препарат так, чтобы изменять направление штрихов, оценивают резкость и окрашенность их изображения (см., например, рис. 86,*в*). Если при перемене объектива изображения штрихов смещаются (рис. 86,*г* и *д*), то это означает недостаточную точность центрировки объектива).

Хорошие результаты дает автоколлимационный способ (предложенный Т. И. Соколовой) контроля разрешающей силы

микрообъективов при помощи миры (рис. 87). Испытуемый объектив *1* устанавливается так, чтобы его задний фокус F' совпадал с мирой M, освещаемой системой *I*. Автоколлимационное изображение M' миры, даваемое с помощью зеркала *2*, рассматривается в микроскоп *3*. Подробности оценки качества изображения при помощи миры изложены в § 12.

§ 37. Сборка зеркал и призм в оправах

Общие сведения

Узлы крепления зеркал и призм конструктивно более разнообразны, чем сборки круглой оптики. Ввиду конструктивной простоты зеркал по отношению к призмам, зачастую имеющих сложную конструкцию, сборочные узлы зеркал проще, чем аналогичные узлы призм.

При рассмотрении технологии сборки и юстировки зеркал и призм целесообразно выделить две основные группы сборочных операций: сборку неподвижных зеркал и призм и сборку этих деталей, совершающих при работе прибора качание и вращение вокруг соответствующих осей.

Сборка неподвижных зеркал и призм

При сборке неподвижных зеркал и призм необходимо обеспечить: 1) угол α излома визирной оси (рис. 88 и 89); 2) отсутствие натяжений в больших призмах и пирамидальности в них; 3) заданные размеры свободных отверстий деталей;

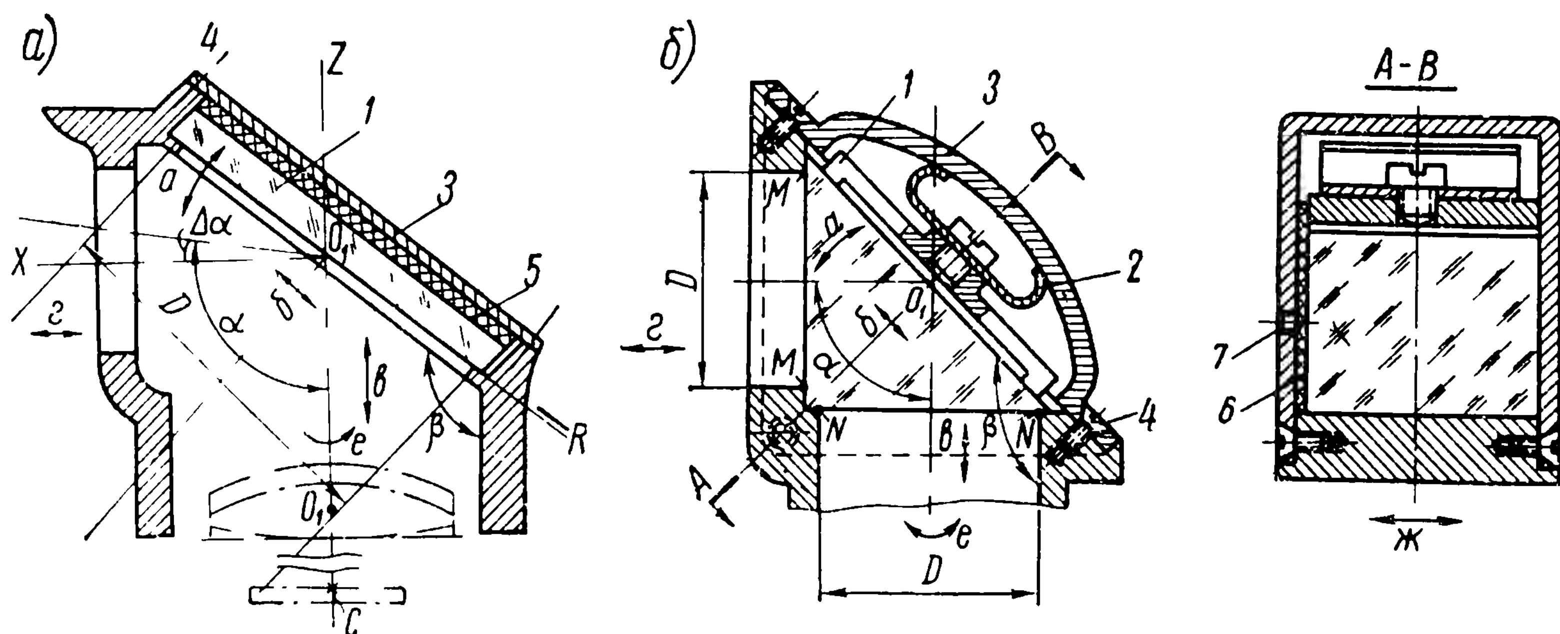


Рис. 88

4) симметричность свободных отверстий деталей относительно оси системы; 5) наклон изображения в пределах допуска; 6) при установке деталей между объективом и сеткой центрировку системы в допуске; 7) разрешающую силу (при сборке призм).

Наиболее просто собираются неподвижные зеркала и призмы наблюдательных труб (рис. 88, *а* и *б*), установленные **перед объективом** в параллельных пучках лучей.

Зеркала кладутся на опорные плоскости *R* корпуса и прижимаются к ним крышкой *3* посредством четырех или трех вин-

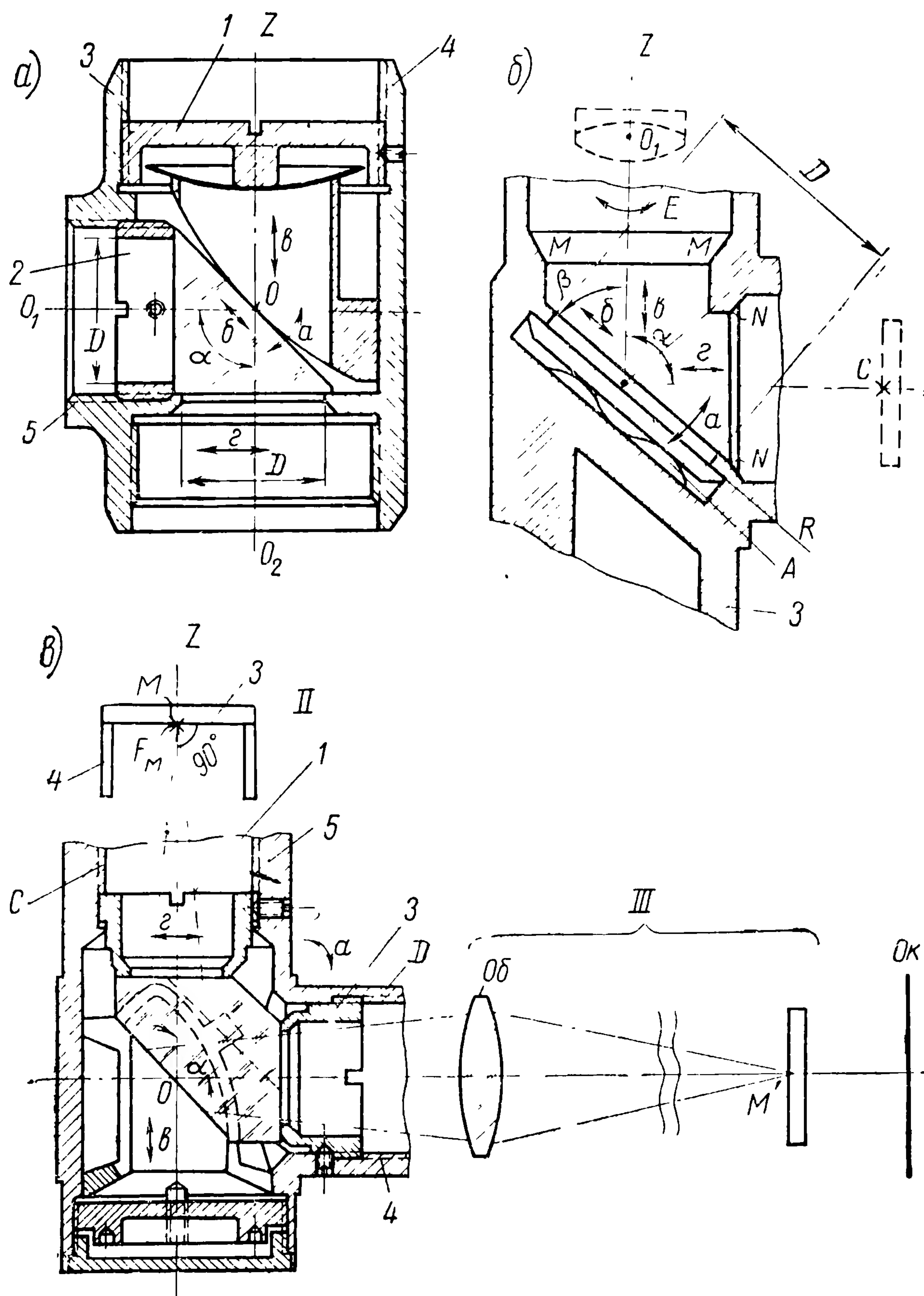


Рис. 89

тов *4* либо плоской пружиной *А* (рис. 89, *б*). Иногда между зеркалом и крышкой помещают картонную или пресс-шпановую прокладку *5* (рис. 88, *а*). Аналогично собираются призмы, например при помощи прижимной планки *1*, пружины *2* и крышки *3* (рис. 88, *б*).

В большинстве случаев выполнение вышеуказанных условий сборки осуществляется за счет правильно выдержанных линейных *D* и угловых β размеров опорных поверхностей оправ зеркал и призм и симметричности отверстий *ММ* и *NN* оси корпуса.

Перемещение зеркал по стрелкам *в*, *б*, *г* для узлов, представленных на рис. 88, не вызывает какой-либо деюстировки прибора. Поворот зеркала по стрелке *а* вызывает постоянную ошибку $\Delta\alpha$ угла α, которая для наблюдательных труб не имеет значения, а для прицельных может быть учтена при установке нуля шкалы углов прицеливания при пристрелке оружия. В этом же случае перемещения деталей могут привести к срезанию наклонных пучков лучей.

Поворот зеркала вокруг оси *Z* вызывает наклон изображения (см. § 7). Все юстировочные повороты и смещения зеркала могут быть осуществлены только припиловкой опорных поверхностей оправы или установкой прокладок (например, *6*, рис. 88, разрез *АВ*) между этими поверхностями и оптическими деталями. Это нежелательно, так как в условиях эксплуатации прибора, например при тряске, прокладка может сместиться, а прибор разъюстироваться.

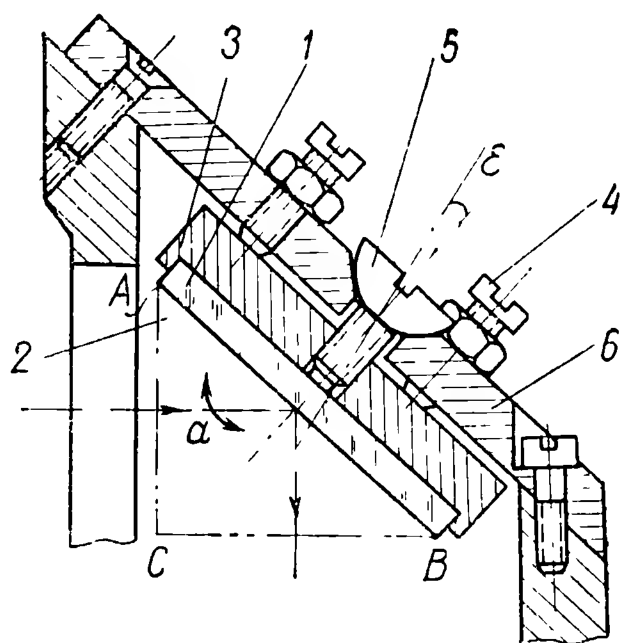


Рис. 90

При установке деталей после объектива (рис. 89) поворот деталей по стрелке *а* и смещения по стрелкам *в* и *г* приводят к децентрировке системы (см. § 10) и параллаксу (см. § 9). Поворот деталей относительно оси *Z* (по стрелке *е*) приводит к наклону изображения.

На рис. 89, *а*, *б*, *в* показаны соответственно узлы крепления простой прямоугольной призмы, плоского зеркала и прямоугольной крышеобразной призмы. Узлы позволяют центрировать призмы путем изменения положений втулок *1* и *2* в корпусе *3* в направлении стрелок *в* и *г* (рис. 89, *а*). Поворот вокруг оси *Z* может быть осуществлен только при помощи введения прокладок между деталью и корпусом и обычно в данных узлах не производится.

Юстировку наклона изображения в приборах с большим числом зеркал или призм, используемых в лабораторных условиях, удобно производить зеркалом *1* или призмой *2* (рис. 90), которые могут менять наклон отражающей грани. Это достигается поворотом оправы *3* призмы при помощи трех винтов *4*, наклоняющих винт *5* с шаровой головкой на нужный угол ε относительно неподвижной крышки *6* корпуса призмы. Величина наклона ограничивается величиной зазора между винтом *5* и отверстием в крышке *6*.

Центрировка зеркала или призмы в оправе может быть осуществлена различными методами. Простейший способ центрировки выполняется при помощи двух трубок *I* и *II* (рис. 91, *а*)

без объективов и окуляров, ввинчиваемых в базовые резьбы *5* и *4* корпусов *3* и *5* призмы (рис. 89, *а* и *в*). Трубки имеют сетки *A*, *B* и *C*, находящиеся на конечных расстояниях от юстируемой призмы (или зеркала). Сетка *1* имеет черный кружок; на сетке *2* нанесено черное кольцо; сетка *3* имеет также черное

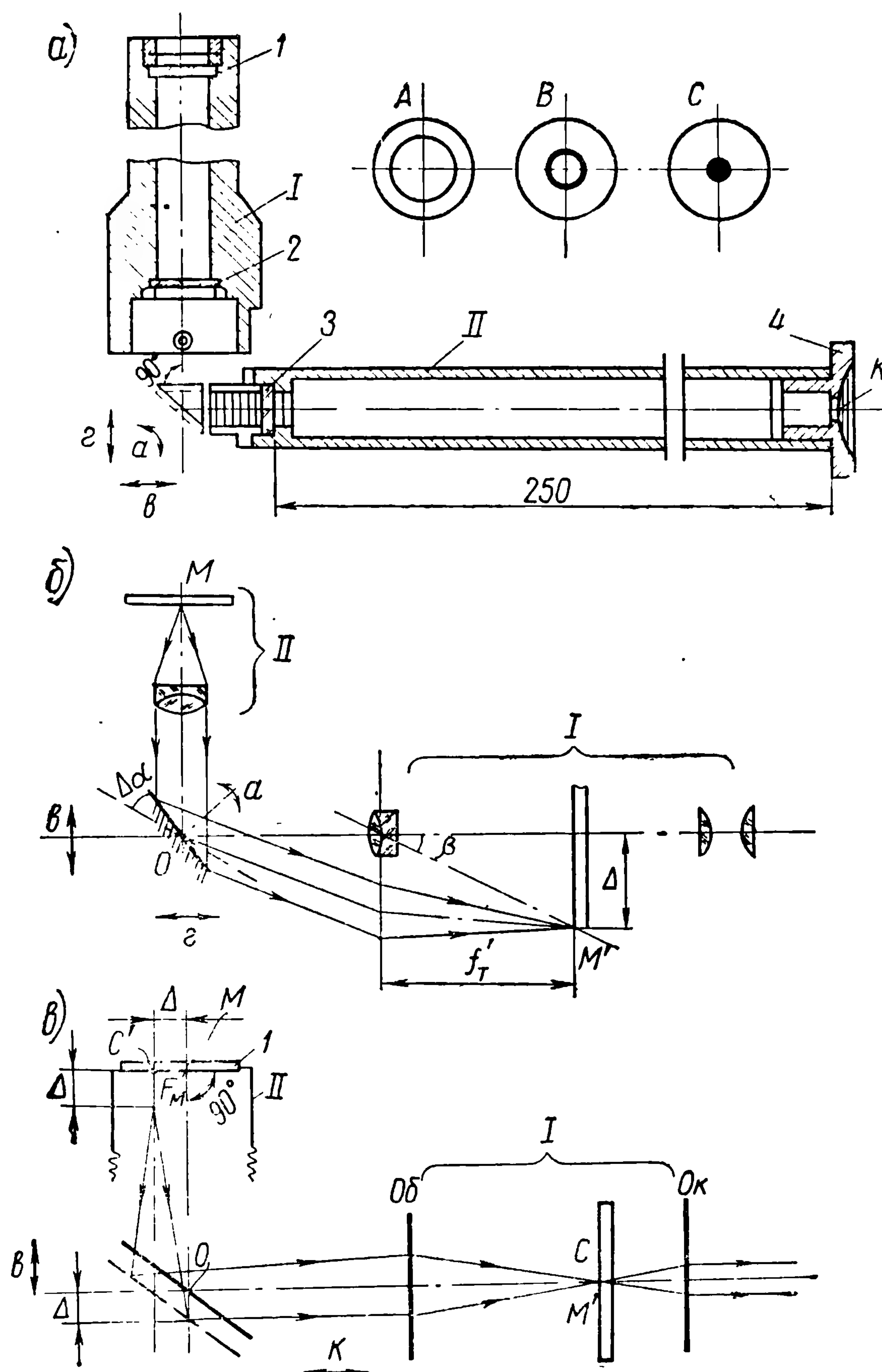


Рис. 91

кольцо с диаметром, промежуточным между диаметром черного кружка и кольцом сетки *2*.

Центры колец сеток и черного кружка должны быть точно центрированы. На расстоянии 250 *мм* наилучшего зрения от сетки *3* в трубке *II* имеется диафрагма *K*, в плоскости которой помещается зрачок глаза наблюдателя. Если призма (или зеркало) установлена правильно, то при наблюдении в трубку *II* кружок сетки *C* и кольца сеток *A* и *B* будут концентричны друг

другу. При смещении детали по стрелкам *в* и *г* и наклоне по стрелке *а* концентричность колец нарушается.

Описанный метод центрировки не очень точен и не позволяет оценивать количественно величину децентрировки детали. Оптические приспособления позволяют избежать указанных недостатков.

Децентрировка зеркала (призмы) при ее наклоне $\Delta\alpha$ по стрелке *а* (рис. 91, *б*) может быть, например, определена при помощи зрительной трубки *I* и коллиматора *II*, ввинчиваемых в резьбы *5* и *4* корпуса *3* (рис. 89, *а* и *в*) вместо трубок с диафрагмами (рис. 91, *а*).

Линейная величина Δ децентрировки в плоскости сетки определится величиной смещения изображения *M′* перекрестия *M* сетки коллиматора (рис. 91, *б*). Очевидно, $\Delta = f'_т \beta$, где $\beta = 2\Delta\alpha$.

Однако п а р а л л е л ь н ы е с м е щ е н и я зеркала (призмы) по стрелкам *В* и *Г* таким способом определить невозможно, так как в этом случае лучи, идущие из коллиматора, все равно соберутся в переднем фокусе окуляра сетки и Δ будет равно нулю. Для контроля децентрировки в этом случае следует применить микроскоп *I* и трубку *II* с сеткой *1* (рис. 91, *в*). Сетка *1* должна быть нормальна оси патрубка корпуса *3* призмы (рис. 89, *а*) и иметь в центре марку *M*. Ось микроскопа *I*, очевидно, должна совпадать с осью патрубка, в который она ввинчена (или быть ей параллельна). Микроскоп *I* и трубка *II* устанавливаются так, чтобы марка *M* совпадала с передним фокусом $F_м$ микроскопа. Тогда, если оси обоих патрубков корпуса призмы пересекаются в точке *O* ее отражающей грани, при правильном положении призмы изображение *M′* марки *M* будет совпадать с центром *C* сетки микроскопа. При параллельном смещении зеркала (призмы) на величину Δ визирная ось микроскопа сместится также на эту величину, причем передний фокус микроскопа $F_м$ будет отступать от плоскости сетки на величину Δ, вызывая явление параллакса (см. § 9). Устранив параллакс перемещением микроскопа *I* по стрелке *K* на величину Δ, приведем изображение *C′* сетки микроскопа в плоскость сетки *3*. Величина децентрировки Δ может быть измерена по шкале сетки. Микроскоп должен быть длиннофокусным.

Удобно комбинированное оптическое устройство, позволяющее определять и наклон и параллельное смещение зеркала или призмы (рис. 92). Вместо сетки *1* трубки *II* (рис. 91, *в*) в трубке *I* (рис. 92, *а*) устанавливается зеркало *2* с маркой *E* в центре. Микроскоп *I* (рис. 91, *в*) заменяется автоколлимационной трубкой *II* с объективной насадкой *M*, имеющей круглое отверстие (рис. 92, *а*). При освещении сетки трубки *II* в торец лучи выйдут из объектива параллельными пучками и, пройдя отверстие в насадке, отразятся от юстируемого зеркала *AB* и зеркала *2* (рис. 92, *а*).

При правильной установке зеркала (положение AB) отраженные лучи (две стрелки) соберутся в фокусе окуляра трубки и марка C сетки совместится с ее автоколлимационным изображением C'.

При наклоне зеркала (положение $A'B'$) на угол $\Delta\alpha$ лучи (три стрелки) будут направлены на зеркало 2 не под углом 90°

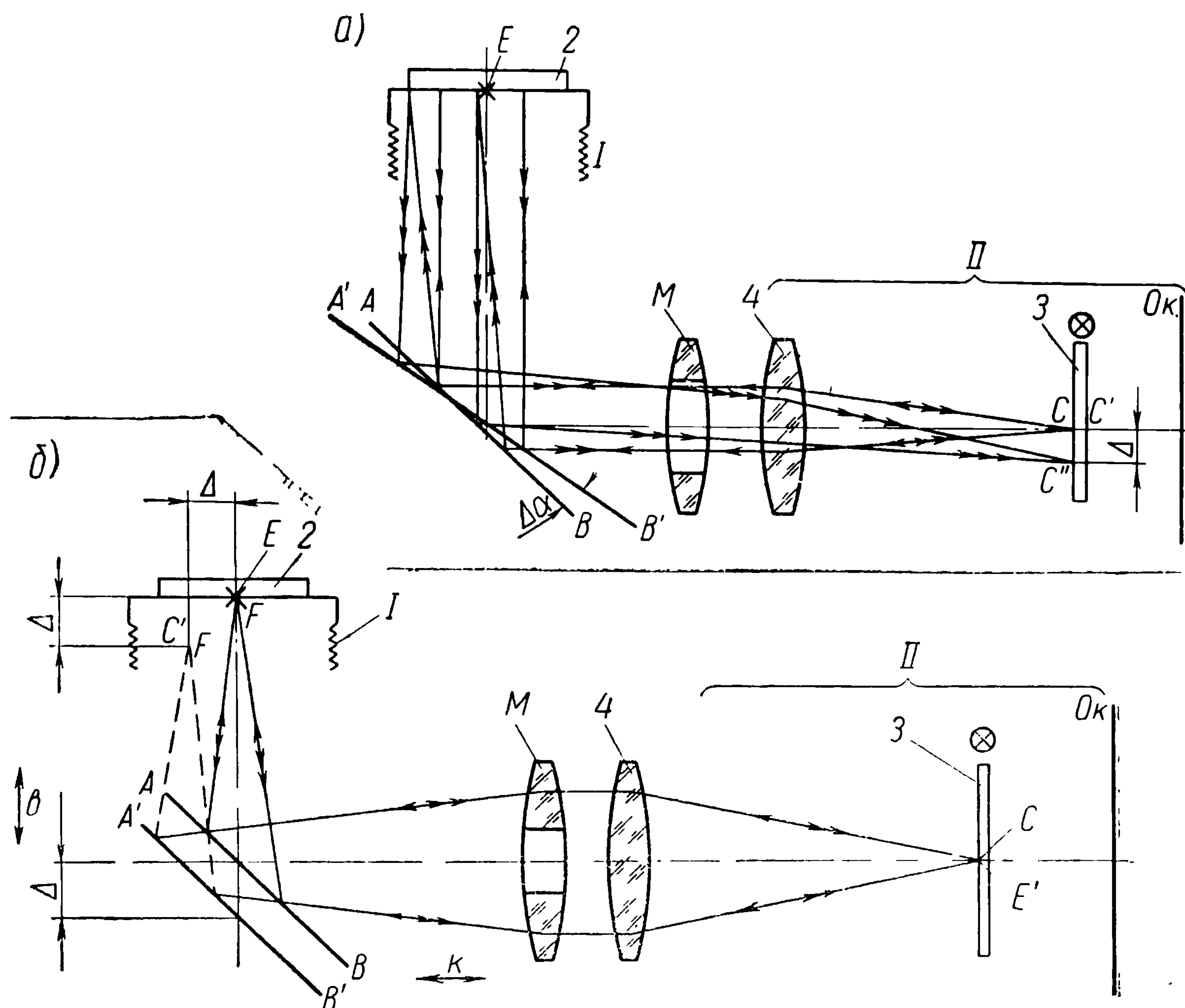


Рис. 92

и, отразившись от него, дадут в плоскости сетки 3 трубки автоколлимационное изображение C'', смещенное относительно марки C на величину Δ. При юстировке призмы автоколлимационное изображение C' марки C можно получить и непосредственно от ее передней грани без использования зеркала 2. Однако яркость блика бывает обычно недостаточна.

При параллельном смещении зеркала (положение $A'B'$ на рис. 92, *б*) параллельные лучи, идущие через отверстие в насадке M, не дадут смещения изображения C' относительно марки C, но лучи, проходящие насадку M, выйдут из нее сходящимся пучком, повторяя схему рис. 91, *в*. Передний фокус F насадки M должен быть совмещен с маркой E сетки 2. При правильном положении зеркала (положение AB) лучи после отражения от зеркала дадут изображение E' марки E в центре C

сетки трубки. При смещении зеркала (положение $A'B'$) лучи дадут изображение C' марки C, смещенное относительно марки E и плоскости зеркала на величину Δ, давая децентрировку и параллакс. Передвинув насадку M по стрелке K на величину Δ, устраним параллакс, совместив изображение C' с плоскостью зеркала 2, и сможем заметить величину смещения юстируемого зеркала.

Юстировка систем неподвижных зеркал и призм

Юстировка угла между двумя зеркалами, установленными в параллельных пучках лучей, может выполняться при помощи коллиматора и зрительной трубы. На рис. 93 дана схема такой

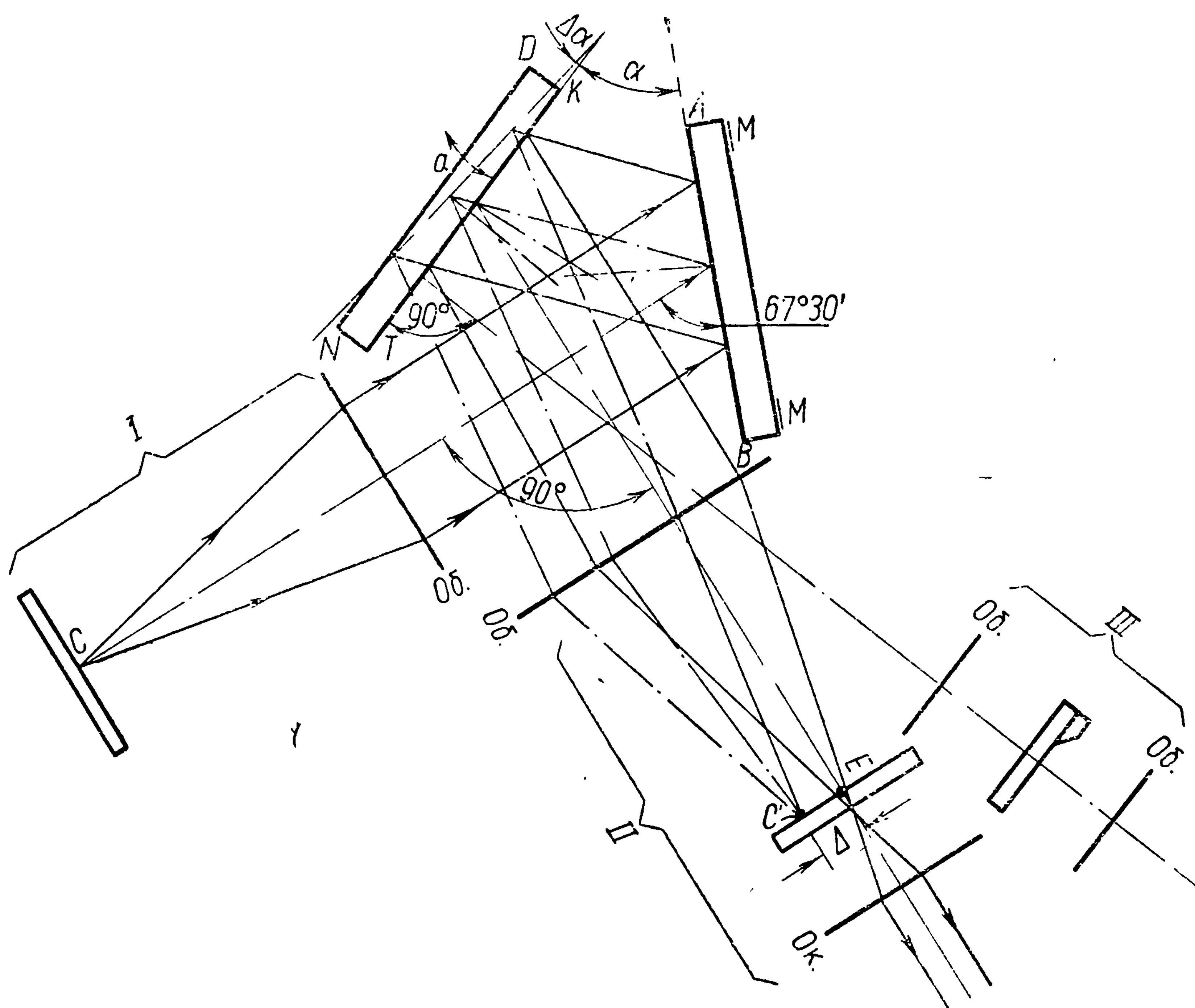


Рис. 93

юстировки угла $\alpha=45^\circ$ между двумя зеркалами, конструкция крепления которых позволяет поворачивать одно из зеркал. Очевидно, оси коллиматора *I* и зрительной трубы *II* должны быть взаимно перпендикулярны, а отражающая плоскость одного из зеркал (например, AB) должна быть расположена к оси коллиматора (или зрительной трубы) под углом 67°30'. Тогда при

наличии ошибки $\Delta\alpha$ угла между зеркалами изображение C' перекрестия сетки C коллиматора сместится относительно центра E сетки зрительной трубы на величину Δ. Поворотом зеркала ND (по стрелке *а*) добиваются совмещения перекрестий сеток; в этом случае угол между зеркалами будет правильным.

Эта же юстировка может быть выполнена при помощи автоколлимационной трубки *III*, которая выставляется нормально к правильно ориентированной отражающей плоскости одного из эталонных зеркал (например, TK). При установке узла юстируемых зеркал взамен эталонного отклонение зеркала на угол $\Delta\alpha$ вызовет в поле зрения автоколлимационной трубки смещение изображения марки. При этом необходимо, чтобы узлы контролируемых зеркал и эталонный узел имели бы одну и ту же установочную базу, например грань MM.

На рис. 94, *а* показан сборочный узел крепления призм системы Малофеева—Порро в корпусах бинокля. Призмы *1* и *2* опираются плоскостями гипотенузы на плоскости C и D посадочных мест призм в корпусе *3* бинокля и прижимаются к ним плоскими пружинами *4*, концы которых подгибаются и вводятся под приливы *5* корпусов. Между призмами и стенками корпуса имеется некоторый зазор $\frac{\Delta}{2}$, позволяющий призмам поворачиваться по стрелке *а* вокруг оси нормальной опорной плоскости корпуса, а также перемещаться по стрелке *б* по опорной плоскости корпуса и наклоняться относительно ребер плоскости гипотенузы. Поворот призм по стрелке *а* позволяет юстировать призму на наклон изображения. Перемещение призм по стрелке *б* служит для центрировки призм.

Юстировка призм может производиться по двум схемам — в параллельных пучках лучей и сходящихся пучках.

При юстировке призм в параллельных пучках лучей (рис. 94, *б*) в резьбы корпуса *1* ввертывают эталонные объективы *2* и окуляры *3*. При помощи зрительной трубы *I* и коллиматора *II*, оптические оси которых должны быть перпендикулярны плоскости M проверяемого узла, добиваются совпадения заднего фокуса объектива *2* с передним фокусом окуляра *3* бинокля. Затем перемещением и разворотом призм юстируют их на наклон изображения и центрируют (см. § 10) при помощи коллиматора и зрительной трубы. Добившись правильного положения призм, закрепляют их путем корнения краев стенок корпуса в некоторых точках M (рис. 94, *а*). Такой прием получил название зачеканки призм.

При юстировке призм в сходящихся пучках лучей (рис. 94, *в*) корпус с призмами устанавливается между микроскопом *I* и приспособлением (на рисунке не показано), несущим нить *2*. Оптическая ось микроскопа должна совпадать с геометрической осью отверстия ϕA под окуляр, а центр C сетки ми-

кроскопа должен совпадать с осью отверстия ϕ *K* под объектив бинокля. До установки корпуса с призмами микроскоп юстируется так, чтобы изображение *2'* нити *2* находилось в поле зрения микроскопа между штрихами *3* и *4* в плоскости сетки микроскопа. Расстояние между этими штрихами определяет до-

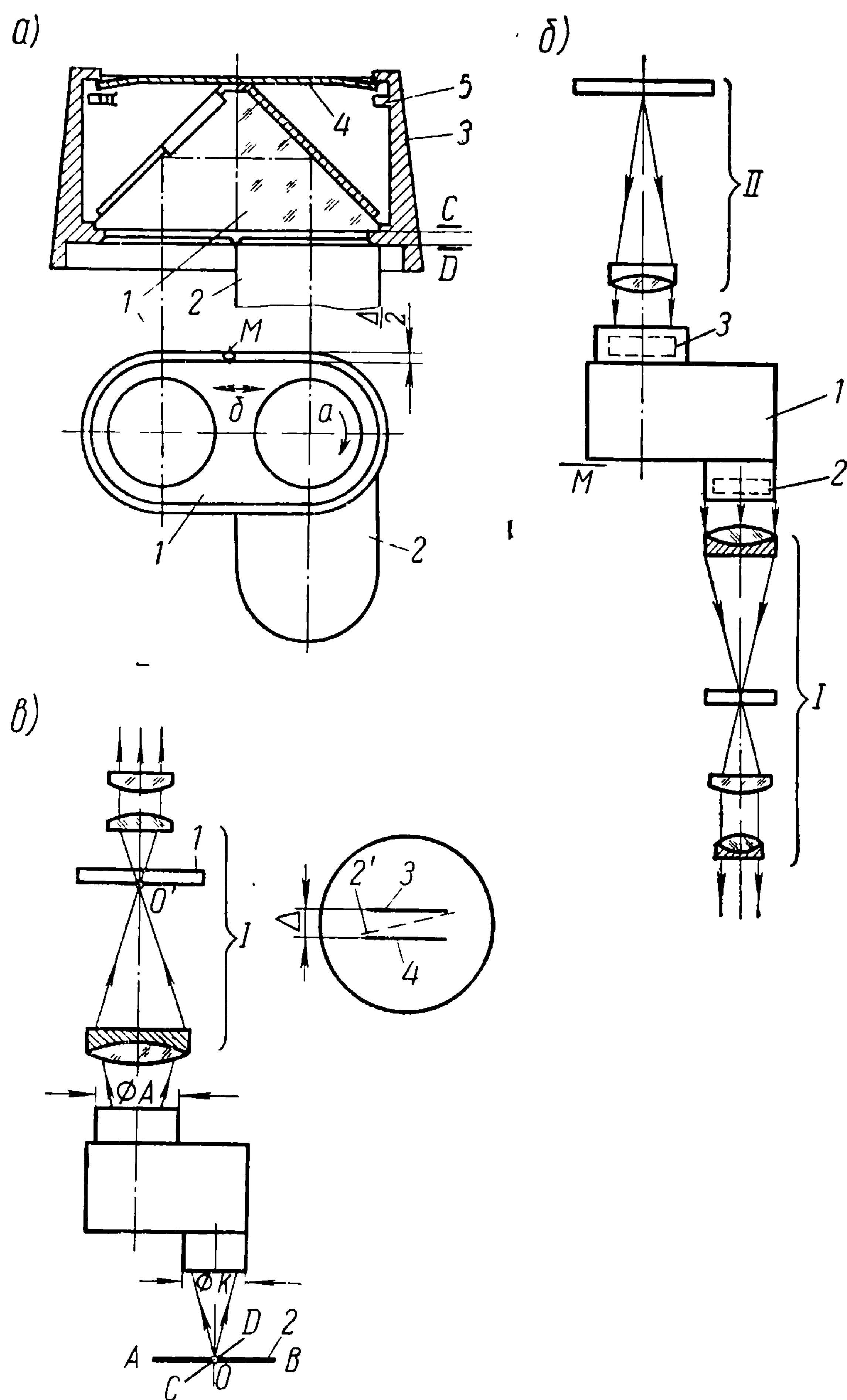


Рис. 94

пуск Δ на наклон изображения. При юстировке призм микроскоп фокусируется на резкое видение изображения *2'* или *2* в плоскости сетки микроскопа. Поворотами призм добиваются положения изображения *2'* нити *2* в плоскости сетки в пределах допуска.

Если нить 2 заменить перекрестием (AB, CD), то на данной установке можно производить и центрировку призм. В этом случае на сетке 1 микроскопа также должно быть перекрестие. До установки корпуса с призмами микроскоп юстируется так, чтобы изображение O′ центра O креста 2 совпадало бы с центром C креста сетки микроскопа.

Сборка качающихся и вращающихся призм

Такие детали устанавливаются в приборах в параллельном ходе лучей перед объективом системы *. Неправильное положение призм в оправах вызывает при их вращении и наклоне увод визирной оси в горизонтальной или вертикальной плоскости и ошибки в отсчетах по измерительным шкалам (см. § 11).

Юстировку призм выполняют при сборке соответствующего узла или окончательной сборке прибора (подробно см. гл. V).

Сборка качающихся призм

Призмы называются качающимися в том случае, если они при эксплуатации прибора поворачиваются относительно оси вращения на заданные углы, но не на 360°, в разные стороны относительно оси.

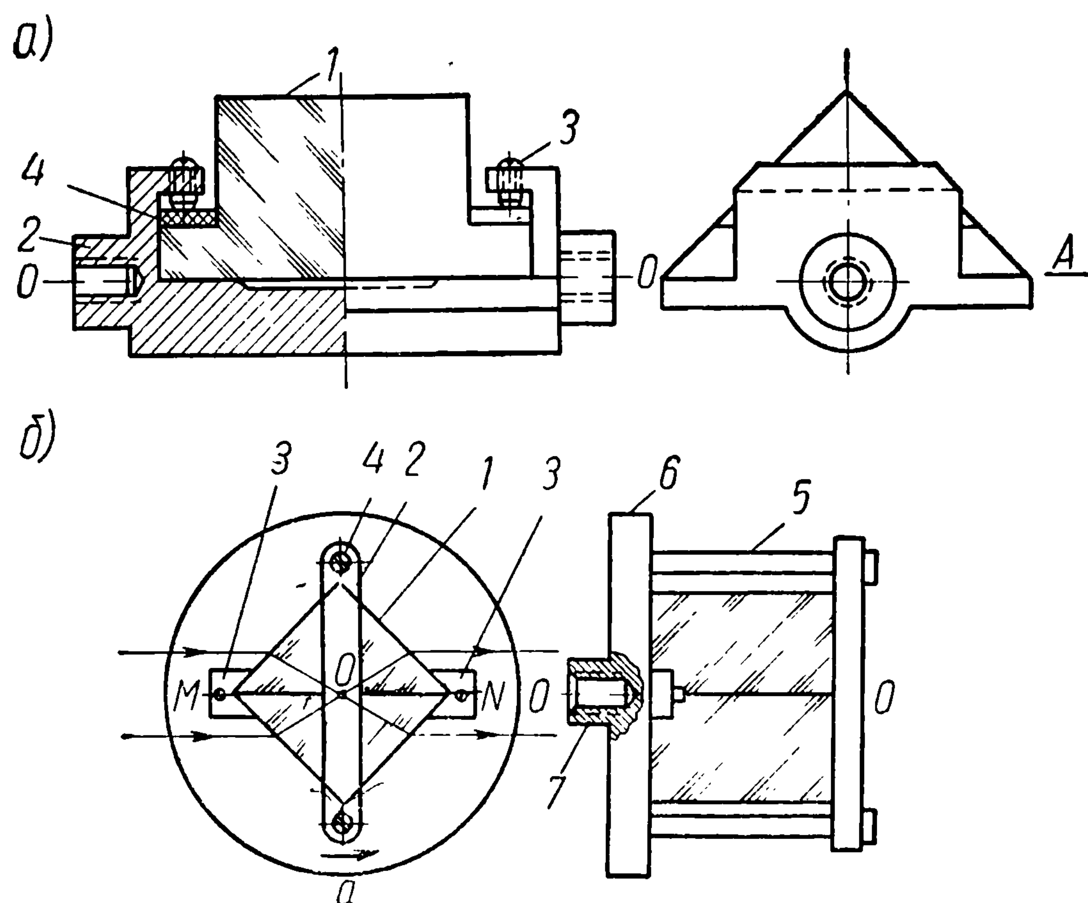


Рис. 95

На рис. 95, *а* показано распространенное крепление прямоугольной визирной призмы 1, качающейся относительно оси OO. Призмы крепятся в оправе 2 при помощи четырех винтов 3 и прокладок 4. Наклоны призмы при ее юстировке могут быть

* Исключение составляет призма Пехана, устанавливаемая за объективом; в данном пособии она не описывается.

осуществлены путем прокладок, помещенных между плоскостью гипотенузы призмы и опорной плоскостью оправы в нужных местах.

На рис. 95, *б* показано крепление призмы-куб *1* прижимной планкой *2* и упорными угольниками *3*. Планка *2* привинчивается винтами *4* к стойкам *5*, связанным с плато *6*. Угольник *3* также привинчивается к плато. В резьбу *7* ввинчивается ось (на рисунке не показана), связанная с червячным механизмом, который вращает плато *6* относительно оси *OO* на требуемый угол визирования.

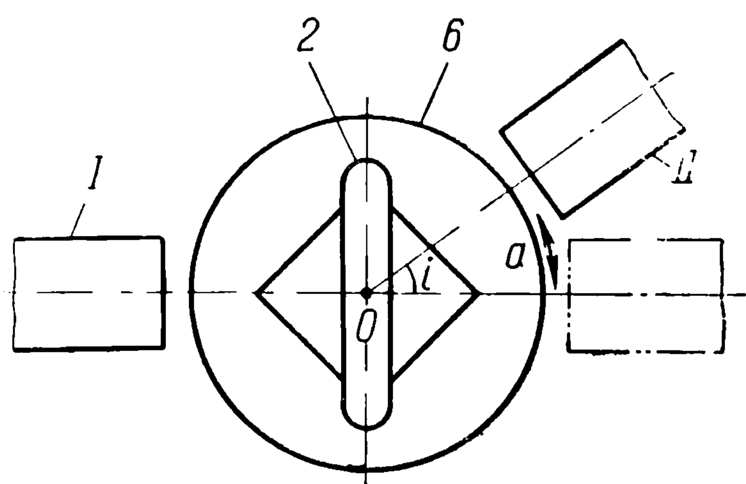


Рис. 96.

При сборке необходимо обеспечить точное совпадение поверхностей склейки *MN* призм с осью *OO* вращения плато *6*. Это достигается на специальном юстировочном приборе (рис. 96) при помощи неподвижной зрительной трубы *I* и коллиматора *II*, вращающегося относительно оси *O* (по стрелке *a*). При правильной сборке призмы поворот плато *6* в пределах заданных углов *i* визирования не должен вызывать смещения изображения перекрытия сетки коллиматора относительно центра сетки зрительной трубы.

Юстировка производится при креплении призмы только планкой *2*; угольники *3* ставятся окончательно после юстировки (рис. 95). Юстировка увода визирной оси может быть осуществлена прокладками, помещенными между призмой и плато.

Сборка вращающихся призм

К вращающимся призмам относятся призмы, которые при работе прибора могут поворачиваться относительно вертикальной оси на 360°, обеспечивая круговой обзор местности при неподвижном положении глаза наблюдателя. Принципиально круговой обзор может быть осуществлен вращением только одной прямоугольной призмы. Однако поворот ее относительно оси вращения (ось *Z*) вызывает наклон изображения, для устранения которого в оптическую систему прибора вводят дополнительную призму.

Выравнивание изображения осуществляется двумя призмами — Дове (рис. 97) и Пехана. Как известно, призма Дове разворачивается в плоскопараллельную пластинку, наклонную оси системы. При установке призмы за объективом в непараллельных лучах призма вносит аберрации, не симметричные оси системы и которые невозможно компенсировать аберрациями линз,

симметричными оси. Поэтому призма Дове ставится всегда в параллельном ходе лучей либо перед объективом, либо между линзами оборачивающей системы с параллельным ходом между ними.

Призма Пехана разворачивается в плоскопараллельную пластинку, нормальную оси, и может устанавливаться между объективом и сеткой.

При юстировке призмы Дове, как было выяснено в § 11, необходимо, чтобы отражающая грань призмы была параллельна оси ее вращения, а последняя совпадала бы с визирной осью системы (см. рис. 35). Эти условия выполняются при юстировке призмы в оправе при помощи прокладок *3* (рис. 97), а иногда винтов. Юстировка производится при помощи коллиматора *II* и зрительной трубы *I*, оси которых должны быть или совмещены, или параллельны (рис. 98). В этом случае изображение

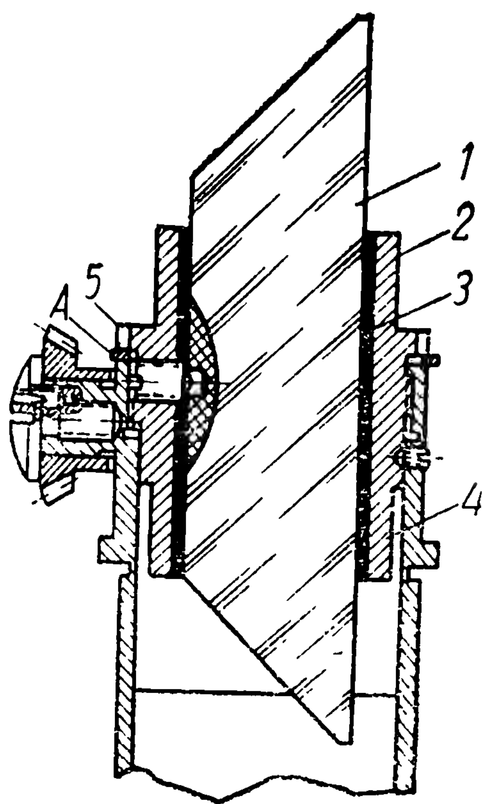


Рис. 97

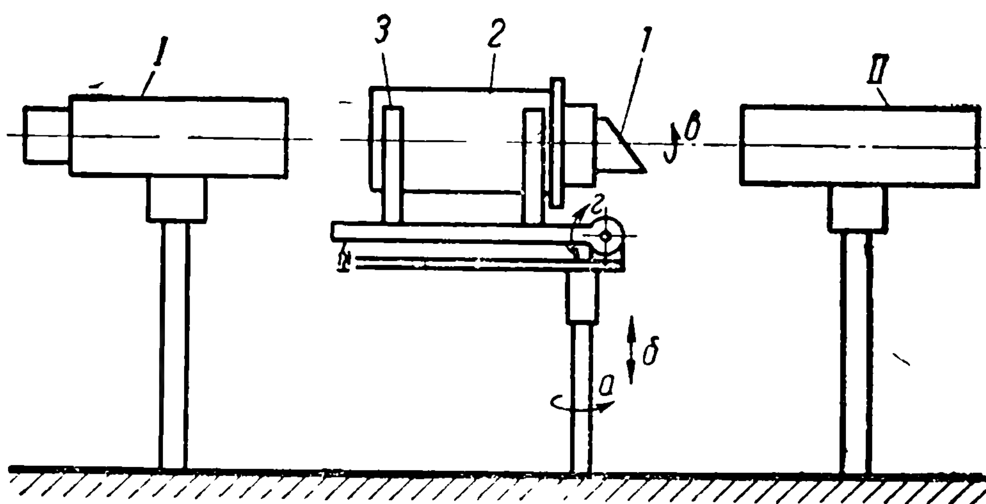


Рис. 98

перекрестия сетки коллиматора будет совпадать с центром сетки зрительной трубы. Юстируемая призма *1* в цилиндрической оправе *2* устанавливается в призмах *3* столика юстировочной установки, который может вращаться (по стрелке *а*), подниматься или опускаться (по стрелке *б*) и наклоняться (по стрелке *г*).

При юстировке призму устанавливают так, чтобы отражающая грань была внизу или вверху. Так как при произвольном положении столика ось призмы не будет совпадать с осями коллиматора и зрительной трубы, то изображение сетки коллиматора сместится относительно центра сетки зрительной трубы. Движениями столика добиваются совмещения этих крестов. Поворачивают призму в оправе на 180° (по стрелке *в*), причем изображение нитей сетки коллиматора повернется на 360°.

Если призма установлена в оправе неправильно, то при вращении оправы в призмах столика изображение центра сетки коллиматора будет перемещаться относительно центра сетки зрительной трубы [при наличии двух вышеуказанных деюстиро-

вок призмы (см. рис. 35, *а* и *б*) изображение перекрестия сетки коллиматора будет двигаться по кардиоиде].

Юстировка призмы выполняется методом половинных поправок. Половина величины смещения перекрестия устраняется движениями столика, а другая половина — наклонами призмы при помощи прокладок *3* (см. рис. 97).

Существуют конструкции, позволяющие наклонять призму при помощи винтов. На рис. 99 показана одна из аналогичных конструкций, в которой наклоны призмы достигаются винтами, сжимающими стенку *А* оправы призмы. Такое крепление призмы находит применение в спектральных приборах (стилоскоп).

Данная конструкция позволяет легко и точно юстировать призму; однако при эксплуатации прибора в условиях сильной тряски и ударов юстировка призмы может нарушаться. Поэтому в приборах, работающих в указанных условиях, юстировка винтами не применяется и положение призмы определяется точными размерами посадочного отверстия в оправе призмы и незначительными наклонами призмы в оправе за счет толщины прокладок *3* (см. рис. 97).

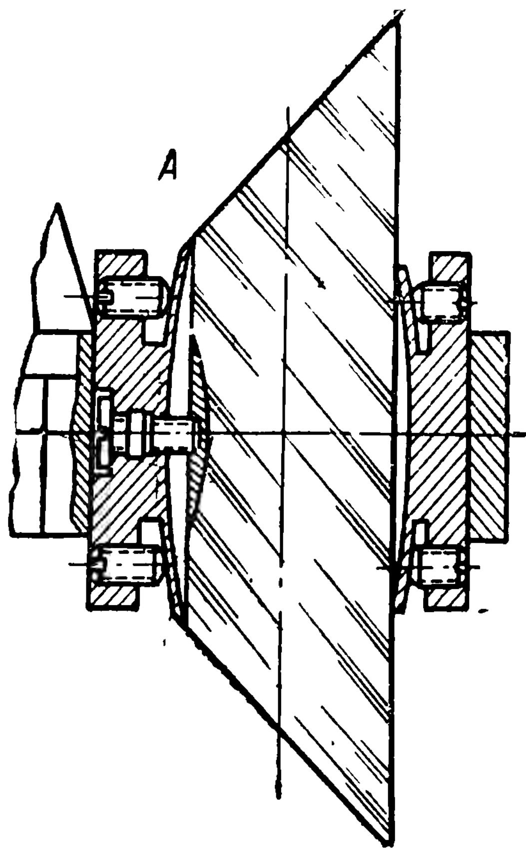


Рис. 99

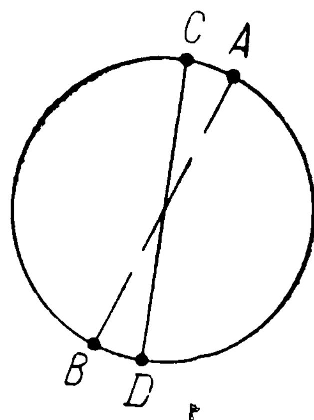


Рис. 100

Если при юстировке призмы Дове центры сеток коллиматора и зрительной трубы совмещены и горизонтальный (или вертикальный) штрих сетки совмещен с соответствующим штрихом сетки коллиматора, а перпендикулярный к нему штрих (например, *AB* на рис. 100) сетки коллиматора наклонен относительно соответствующего штриха *CD* сетки трубки, то это означает, что призма обладает пирамидальностью, которую исправить юстировкой невозможно. В этом случае необходимо призму Дове заменить.

После юстировки призма должна контролироваться на разрешающую силу (см. подробно § 12), которая могла бы ухудшиться вследствие сильного сжатия призмы винтами, а также на натяжения, возникающие по той же причине.

Сборка качающихся и одновременно вращающихся призм

К таким призмам относится, например, головная призма панорамы (рис. 101, *а*). Визирная призма устанавливается в барабане *2* при помощи опорной планки *42*, крышки 3 и пружины *4*, прижимающей призму к опорной планке. Призма с деталями *42*, *3* и *4* вводится в барабан *2* при вывинченных крышках *E* и *16*

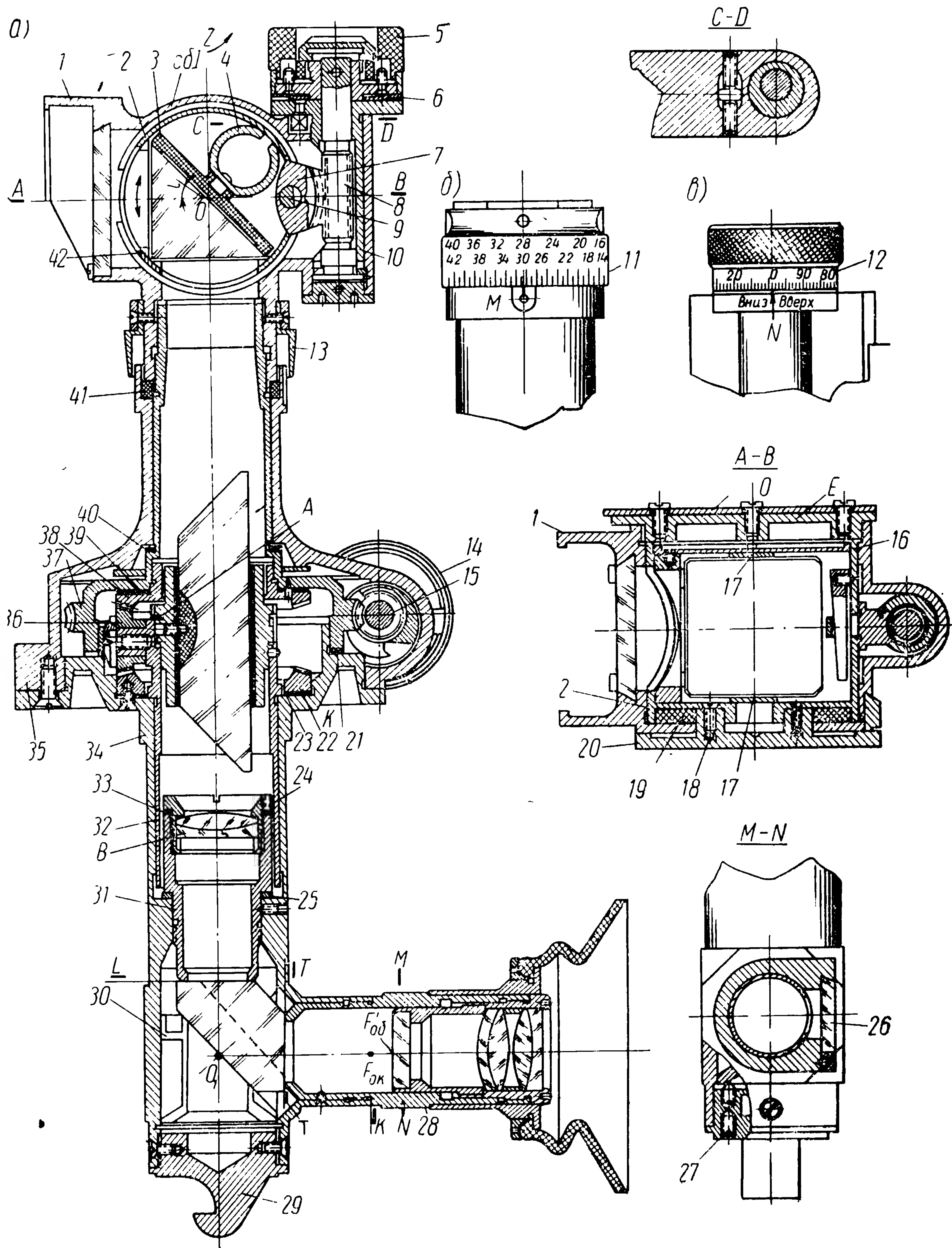


Рис. 101

(сечение по *AB*). Крышка *16* прижимает призму сбоку к противоположной стенке барабана *2*. С обоих боков призмы приклеены картонные прокладки *17*. Призма качается относительно оси *O* для обеспечения углов визирования *i* в вертикальной плоскости и вращается вокруг оси *Z* на 360°.

Качание призмы осуществляется при помощи рукоятки *5*, червяка *8*, червячного сектора *7*, сухаря *9* и барабана *2*. Вращение призмы вокруг оси *Z* производится вместе с вращением корпуса *1* головки, закрепленной на корпусе *37* угломера панорамы (рис. 101, *а*).

Предварительная механическая сборка узла должна обеспечить плавный ход барабана *2* в корпусе *1* и нормальную работу червяка *8* и сектора *7* с мертвым ходом не более 0—01 деления шкалы угломера. При окончательной сборке необходимо достигнуть правильного взаимного положения призмы и червячного механизма, обеспечивающего поворот призмы вверх и вниз от нулевого положения на заданные углы и в соответствии с этим правильное положение шкалы *12* (рис. 101, *в*) углов визирования относительно индекса *N*. Должны быть устранены увод визирной оси (см. § 11) и наклон изображения (см. § 7).

Принципиально все указанные операции можно выполнить при сборке одного узла. Однако практически окончательную сборку верхней головки целесообразнее выполнять совместно с окончательной сборкой всего прибора, так как наклон изображения в приборе может быть исправлен разворотом нижней призмы с тем, чтобы поворотом верхней призмы устранить увод визирной оси.

В связи с этим рассмотрим здесь только предварительную сборку узла, а окончательная сборка будет рассмотрена в § 45. Плавный ход барабана *2* в корпусе *1* достигается их взаимной притиркой. Шайба *20* (сечение по *AB*) притирается к корпусу *1* после соединения ее с барабаном *2* винтами *18*. О регулировании червячных зацеплений уже указывалось в § 24.

Заедание или тугой ход призмы вызывается тугим ходом в зацеплении червяка *8* и червячного сектора *7*, недостаточной чистотой червяка и сектора, изгибом червяка *8*, высыханием и загрязнением сальника *19*. Мертвый ход червячного зацепления возникает при осадке пружины *6* (рис. 101, *а*) и недостаточной пригонке зацепления. Проверку мертвого хода (см. § 16) следует производить через каждые 1—00 шкалы углов *12* на всем их диапазоне.

§ 38. Сборка систем переменного увеличения

Системы переменного увеличения делятся на две основные группы: с прерывным изменением увеличения и непрерывно меняющимся увеличением (панкратические).

Простейшая система прерывного переменного увеличения состоит из сменных объективов и окуляров, например в микроскопе. Из формулы видимого увеличения микроскопа

$$\Gamma = -\frac{\Delta}{f'_{об}} \cdot \frac{250}{f'_{ок}}$$

видно, что при постоянном интервале Δ для изменения Γ надо иметь новые значения $f'_{об}$ и $f'_{ок}$. Поскольку длина тубуса l также постоянна, то задача сборки объективов и окуляров будет заключаться в обеспечении нужных рабочих отрезков L. Сущность этой операции выяснена в § 30 (рис. 67,*а*).

К распространенным системам прерывного переменного увеличения относятся телескопические трубы различных увеличений, вращающиеся перед объективом основной системы. В зависимости от конструкции основной системы они бывают монокулярными и бинокулярными.

На рис. 102 дана конструкция одной из двух монокулярных вращающихся телескопических систем переменного увеличения. Система состоит из двух пар телескопических труб (*I* и *II*), вмонтированных в барабан *1*, который вращается вокруг оси *O*. Смена увеличения основной системы *III* достигается поворотом барабана *1*, вводящего в ход лучей основной системы трубку соответствующего увеличения.

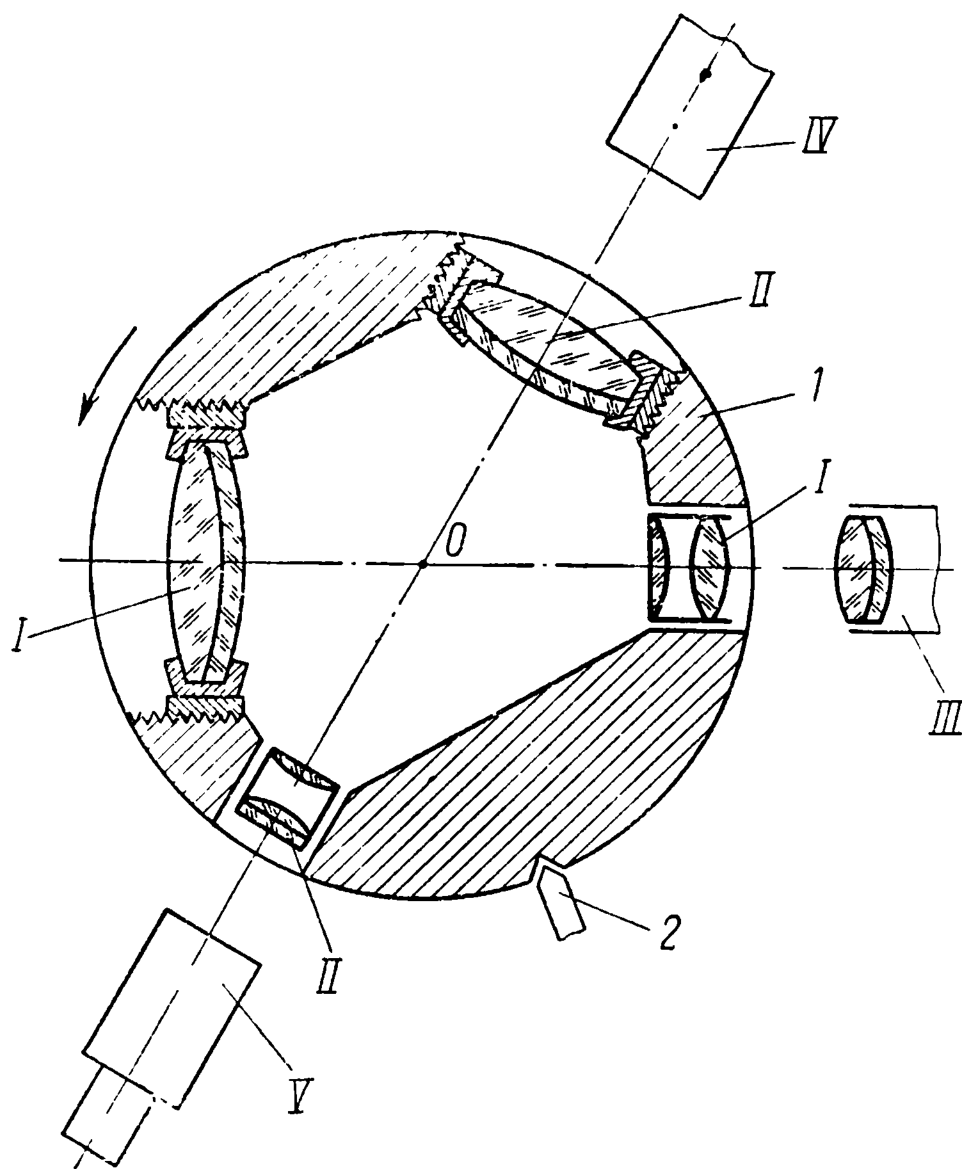


Рис. 102

Объективы и окуляры трубок переменного увеличения устанавливаются в нулевое положение (см. § 9) путем осевых перемещений объективов при помощи резьб. Оптические оси систем переменного увеличения при включении их перед основной системой должны быть параллельны ее оптической оси, проходить строго через ось *O* вращения барабана и быть к ней перпендикулярны. Это достигается правильной расточкой барабана *1* и с помощью эксцентриковых оправ объективов в процессе цен-

трировки (см. § 10). Ось *O* вращения барабана должна быть перпендикулярна оси основной системы.

Центрировка трубок может выполняться при помощи выставленных соосно коллиматора *IV* и зрительной трубы *V*; их общая ось должна проходить через ось *O* вращения барабана и быть ей перпендикулярна. Необходимо обеспечить видимые увеличения $Г_1$ и $Г_2$ трубок. Фиксатор *2* должен стопорить барабан *1* в нужных положениях.

На рис. 103 дан разрез бинокулярной системы переменного увеличения, применяющейся, например, в щелевой лампе

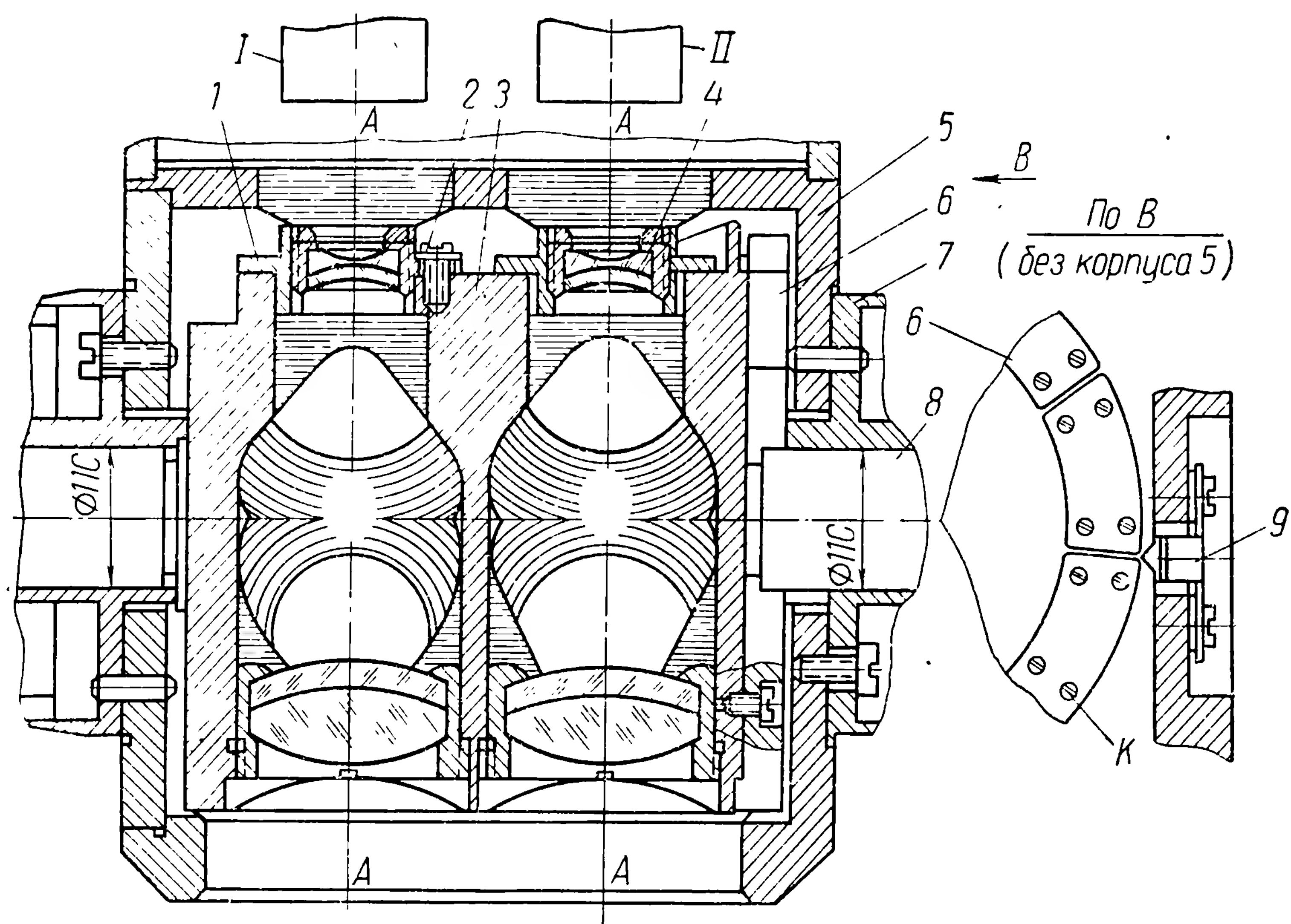


Рис. 103

и бинокулярном микроскопе МБС (см. подробно § 49). Система имеет четыре телескопические трубки Галилея, по две в каждом сечении, как это показано на рисунке. Установка трубок в нулевое положение достигается осевыми перемещениями окуляров *4* в оправе при помощи резьбы во втулках *1*. Ответственной юстировкой этого узла является обеспечение параллельности осей всех трубок; это осуществляется при помощи перемещения втулок *1* относительно винтов *2*, ввинченных в корпус *3*.

Юстировка выполняется по схеме прибора, действие которого объяснялось на рис. 49. Блок переменного увеличения закрепляется на установке, имитирующей корпус *5* прибора с втулками *7*, являющимися подшипниками для осей *8* вращения блока системы переменного увеличения. Цилиндрические поверхности ϕ 11С осей являются базовыми.

При вращении блока оптические оси трубок системы переменного увеличения должны быть параллельны оптическим осям трубок *I* и *II* основной системы прибора.

Юстировка осей производится при помощи коллиматора *I* и зрительной трубы *II* (рис. 104). Трубки юстируют попарно, добиваясь, чтобы изображение C' креста C сетки коллиматора *I* совпадало с перекрестием M сетки окуляра зрительной трубы *II*.

Фиксирование положения трубок переменного увеличения достигается защелкой *9* с пружиной, входящей в углубление между шайбами *6*, прикрепленными винтами к торцу корпуса *3* блока переменного увеличения (см. рис. 103). При повороте блока фиксатор прижимается к шайбам. Положение шайб должно быть отрегулировано при юстировке, чтобы при вращении осей ϕ 11С во втулках *7* оптические оси систем переменного увеличения оставались параллельными друг другу.

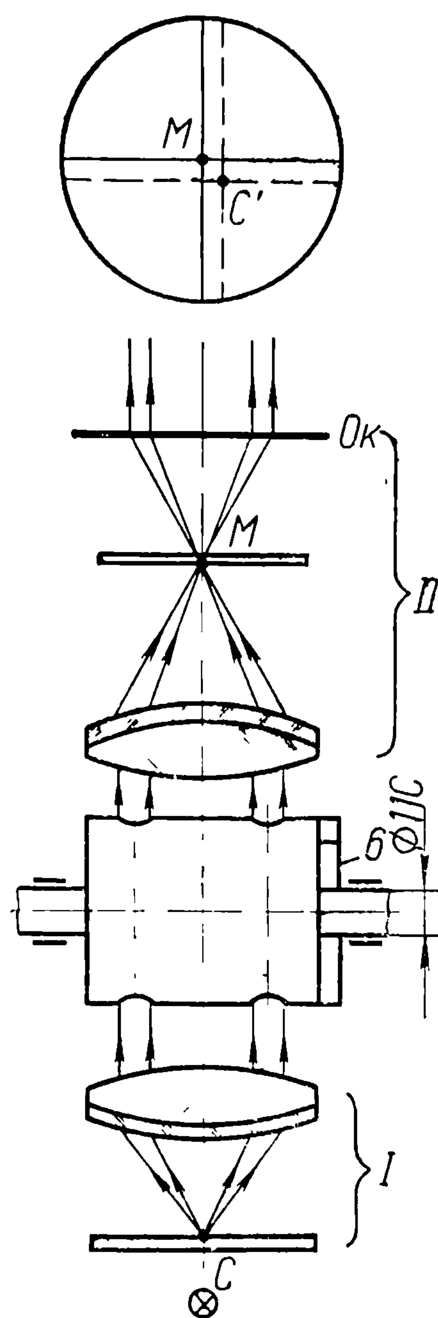


Рис. 104

Наиболее трудно юстировать панкратические системы; непрерывные изменения увеличения достигаются в них перемещением двух компонентов системы $Ф_2$ и $Ф_3$ (рис. 105) по определенному закону так, что расстояние L между этими компонентами непрерывно меняется. Закон этого движения задается пазами *1* и *2* в обойме *3* (рис. 105,*а*); винты *4* закреплены в оправах компонентов $Ф_2$ и $Ф_3$. При вращении обоймы *3* винты будут скользить по прорезям *1* и *2*, а компоненты $Ф_2$ и $Ф_3$ перемещаться по оси системы.

Юстировкой системы надо добиваться, чтобы на всем интервале перемещения компонентов $Ф_2$ и $Ф_3$ изображение y' объекта y оставалось в фокальной плоскости N окуляра и в центре поля зрения, а увеличение изменялось в заданном диапазоне.

Осевое смещение Δ плоскости изображения можно оценить либо по диоптрийной трубке (см. § 9), если юстировка системы проводится с объективом и окуляром, либо при помощи микроскопа *I* (рис. 105, *а*), если юстируется только узел компонентов $Ф_2$ и $Ф_3$. Микроскоп фокусируется на различные положения изображения y', а величина расфокусировки определяется по шкале *5*.

Поперечное смещение δ (рис. 105, *в*) изображения оценивается по сетке микроскопа. Это смещение возникает в случае, если оптические оси обоих компонентов не совпадают с геомет-

рической осью трубы. Поперечное увеличение системы переменного увеличения проверяется известными способами.

Характерные дефекты сборки следующие: неправильное начальное положение компонентов $Ф_2$ и $Ф_3$ и неточности изготовления пазов *1* и *2*, в результате чего нарушается закон движения линз и они несколько смещаются нормально оси системы.

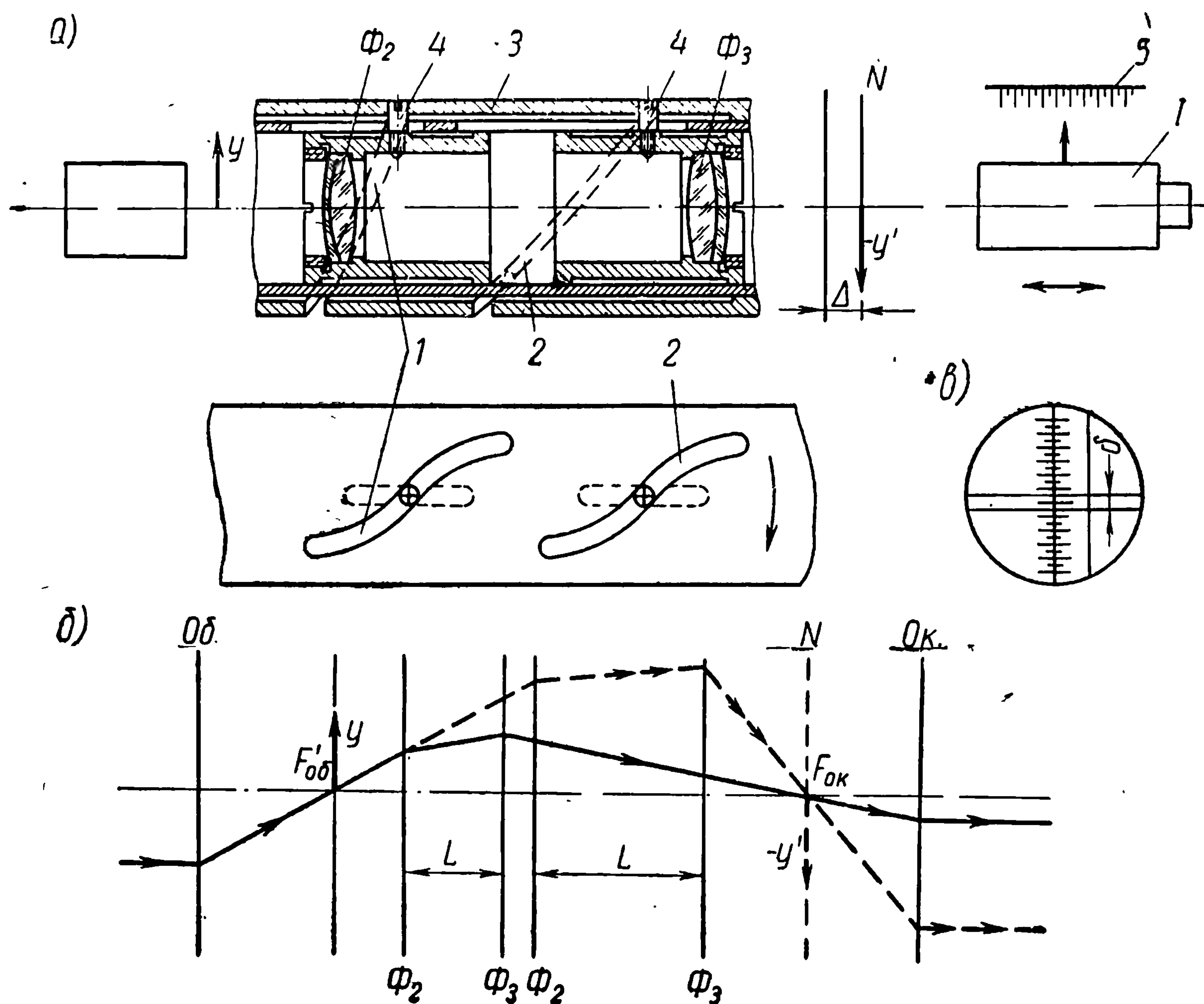


Рис. 105

К панкратическим системам относится и объектив «Метеор-2» (рис. 106), система которого позволяет непрерывно и плавно изменять его фокусное расстояние (в пределах $9 \div 36$ *мм*); объектив применяется в киносъемочных аппаратах (см. § 51) для изменения масштаба съемки. Панкратическая часть объектива состоит из компонентов *К*, перемещающихся (по стрелке *а*) относительно неподвижных компонентов *А*, *В*, *С* и *Е* объектива. Движение компонентов *К* осуществляется от рукоятки *1* при помощи трибки *2* и рейки *3*, связанной с корпусом *4*, несущим компоненты *К*. Это перемещение посредством нити *D* передается на подвижный компонент визира аппарата (см. подробно § 51). Высокая точность центрировки всей системы обеспечивается точной механической сборкой оправ всех линз, обраба-

тываемых по второму классу точности, и тщательностью сборки линз. Окончательная центрировка объектива достигается разворотами линз компонента *А* в оправе.

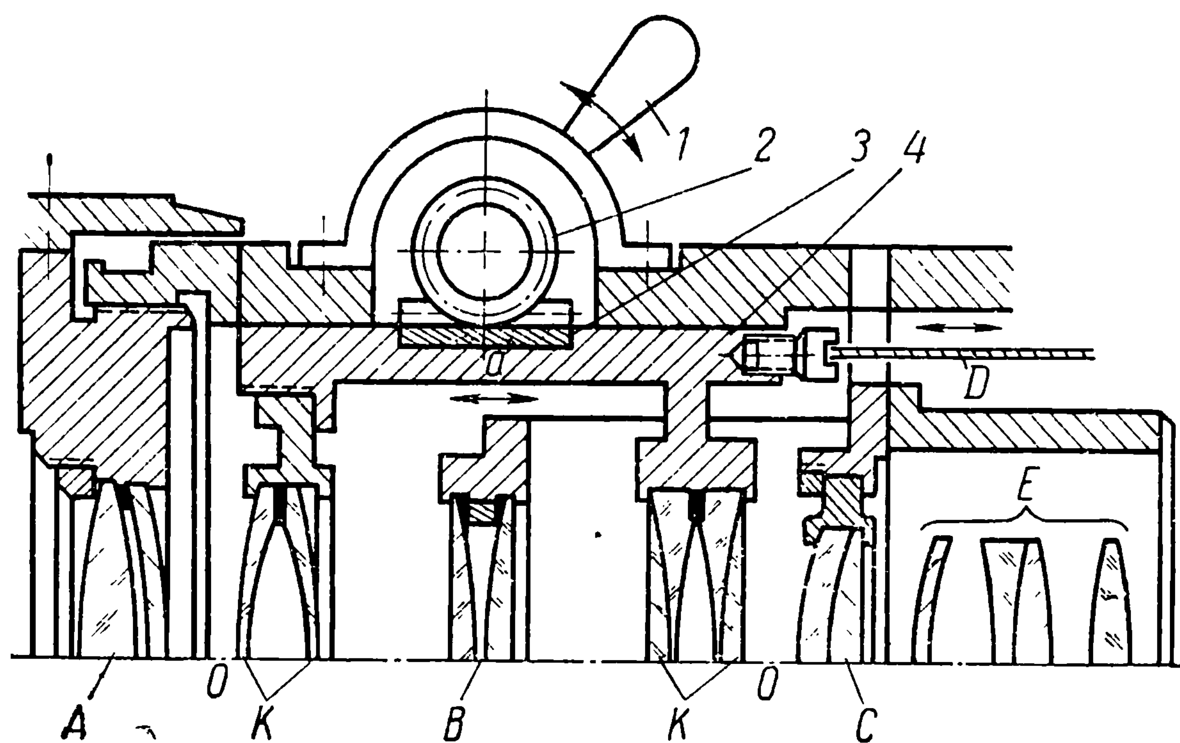


Рис. 106

§ 39. Сборка осветительных систем

Системы данного типа применяются довольно часто в оптических приборах (коллиматорах, микроскопах, фотометрических, спектральных приборах и др.) и играют в их работе существенную роль. Основной задачей сборки осветительных систем

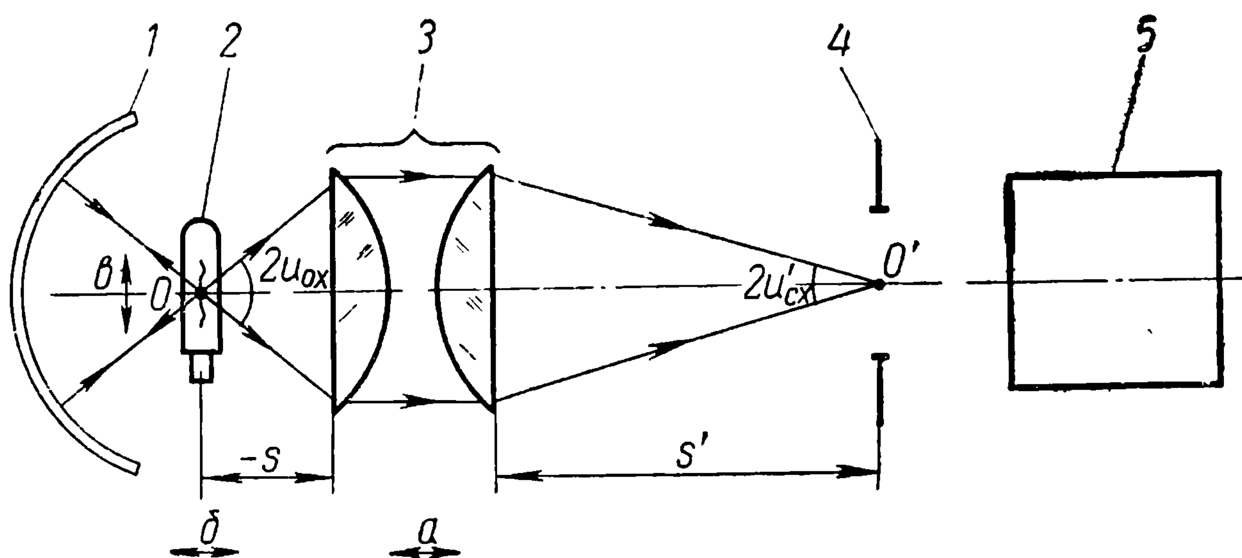


Рис. 107

(рис. 107) является направление света от его источника в определенную деталь прибора (щель, сетку, кадр и т. д.) с заданной освещенностью в пределах определенной площади детали.

Основными элементами таких систем являются источник света *2* и конденсор *3* (например, рис. 107). Довольно часто си-

стемы имеют еще и рефлектор *1*. Простейшие осветительные системы имеют только один источник света.

В процессе сборки приходится обеспечивать: расстояния s и s' при заданном поперечном увеличении β системы, угол охвата $2u_{\text{ох}}$ и угол сходимости $2u'_{\text{сх}}$; источник света и конденсор должны быть центрированы относительно детали *4*, куда направляется свет, и объектива *5* системы прибора. Для достижения этих целей конструкция осветительного узла должна позволять иметь перемещения: осевые (по стрелкам *а* и *б*) для источника света и конденсора и перпендикулярно оси системы (по стрелке *в*).

Более подробно о юстировке узлов данного типа сказано в гл. V÷IX.

Глава V

СБОРКА И ЮСТИРОВКА КОЛЛИМАТОРОВ И МОНОКУЛЯРНЫХ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ ТРУБ

§ 40. Коллиматоры

Коллиматоры являются одним из основных контрольно-юстировочных приборов, поэтому их сборка и юстировка должны выполняться особенно тщательно. Наиболее часто применяются коллиматоры с фокусным расстоянием объектива от 100 до 1000 *мм* и относительным отверстием 1 : 10. Для юстировки некоторых приборов (например, дальномеров), где сетка должна

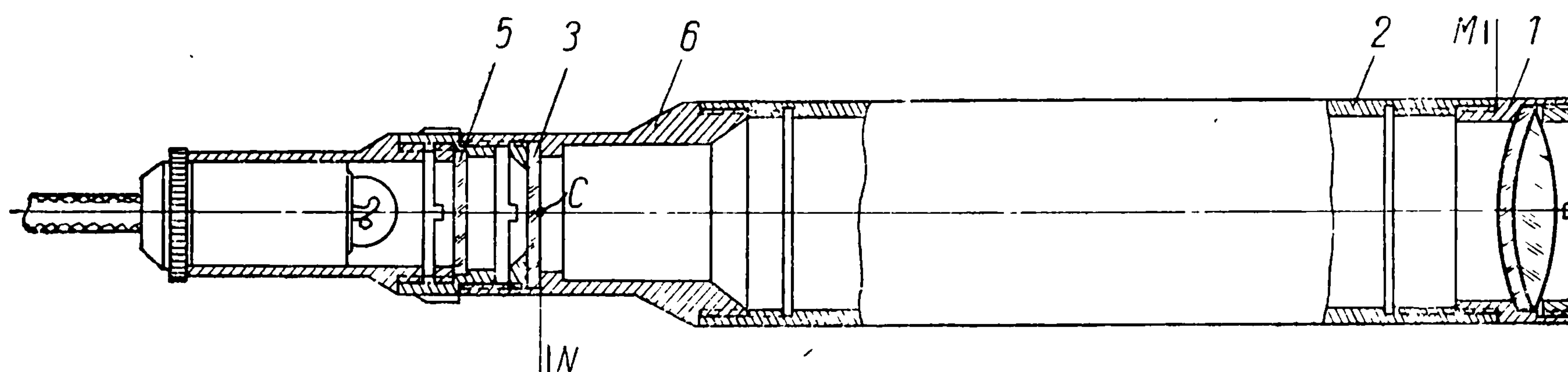


Рис. 108

весьма точно устанавливаться в фокус объектива (см. § 9), фокусное расстояние объектива коллиматора бывает равно нескольким метрам.

Для коллиматоров длиной 100÷200 *мм* используются обычно объективы прицелов или стереотруб, оборачивающие линзы перископов. Для длиннофокусных коллиматоров применяются объективы астрономических труб.

Для обеспечения равномерного освещения сеток между ними и осветителем устанавливают молочное, или матовое, защитное стекло (например, *5* на рис. 108), а также конденсорные системы.

Конструкция коллиматора должна предусматривать возможность выполнения необходимых юстировок. Их виды и точность зависят от назначения коллиматоров.

Важнейшими юстировками являются установка сетки в нулевое положение и ее центрировка относительно объектива.

Методы установки сетки в нулевое положение подробно описаны в § 9. Напомним, что точность установки сетки возрастает с увеличением фокусного расстояния объектива коллиматора или трубы, по какой производится установка данного коллиматора. Поэтому коллиматоры, предназначенные в дальнейшем для юстировки труб на параллакс, должны юстироваться сами достаточно точно по длиннофокусным коллиматорам, по звезде, с помощью пентапризмы или трех коллиматоров.

Для установки сетки в нулевое положение конструкция прибора должна обеспечивать осевое перемещение объектива или сетки в трубе. Это производится разными способами: ввинчиванием узла объектива или сетки в трубу, перемещением этих

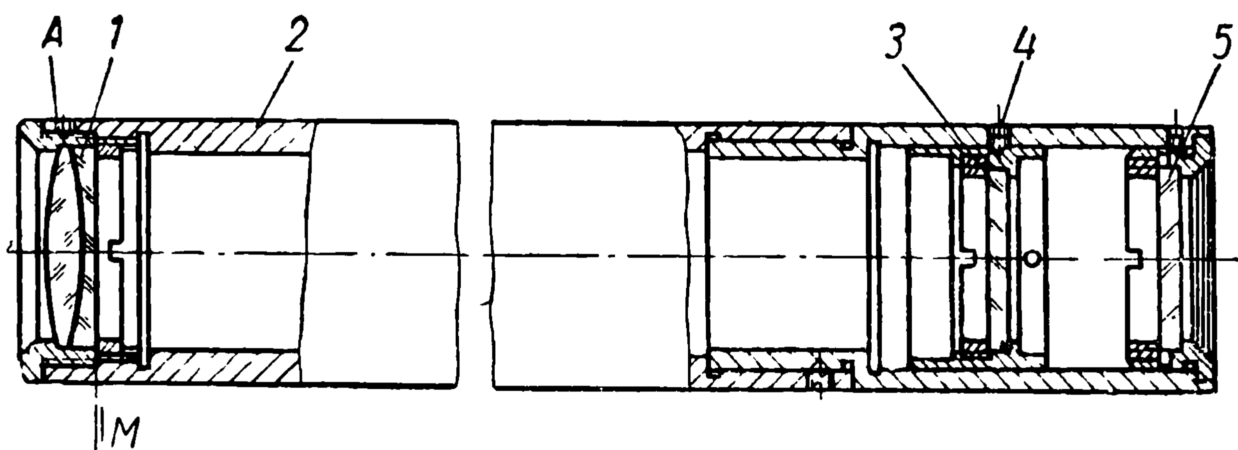


Рис. 109

узлов в трубе на соответствующей посадке, перемещением объектива или окуляра в трубе за счет подрезки торцовой опорной поверхности трубы, введением компенсационных колец различной толщины.

На рис. 108 и 109 даны конструкции коллиматоров, юстируемых на бесконечность ввинчиванием узла *1* объектива; при необходимости подрезаются торцы *N* и *M* трубы *2*. После юстировки сборка *1* крепится в трубе *2* стопорным винтом *A* (рис. 109).

На рис. 109 представлена конструкция, позволяющая перемещать и узел сетки *3* на посадке в трубе *2* и крепить ее после юстировки винтом *4*. Такой способ установки сетки позволяет поворачивать ее относительно оси трубы с целью устранения разворота сетки (см. § 8).

В конструкции, представленной на рис. 108, в принципе можно перемещать и сетку *3*; для этого пришлось бы подрезать торец *N* корпуса *6* или помещать между сеткой и этим торцом компенсационную прокладку необходимой толщины.

При центрировке коллиматора центр его сетки должен находиться на оптической оси объектива. Визирная ось коллиматора выставляется обычно параллельно геометрической оси трубы или какой-либо базовой поверхности прибора (например, в приставных трубках, см. § 24, рис. 55) или оптической оси другого коллиматора (для контроля бинокулярных приборов,

см. § 14, рис. 50). Способы регулирования положения визирной оси описаны в § 10. На рис. 110 показана конструкция коллиматора с регулировкой положения центра сетки *1* при помощи четырех винтов *2*.

В некоторых контрольно-юстировочных установках регулирование положения визирной оси коллиматора относительно заданной базы достигается наклонами самого коллиматора *1* в на-

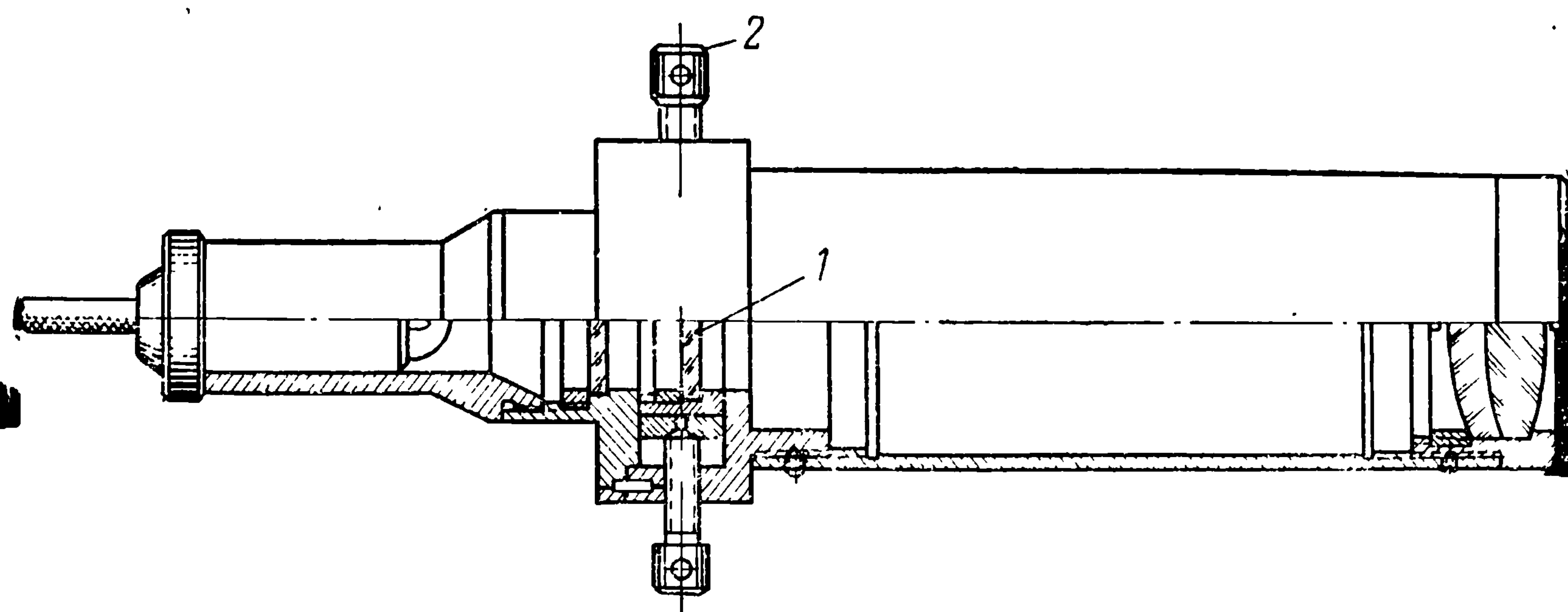


Рис. 110

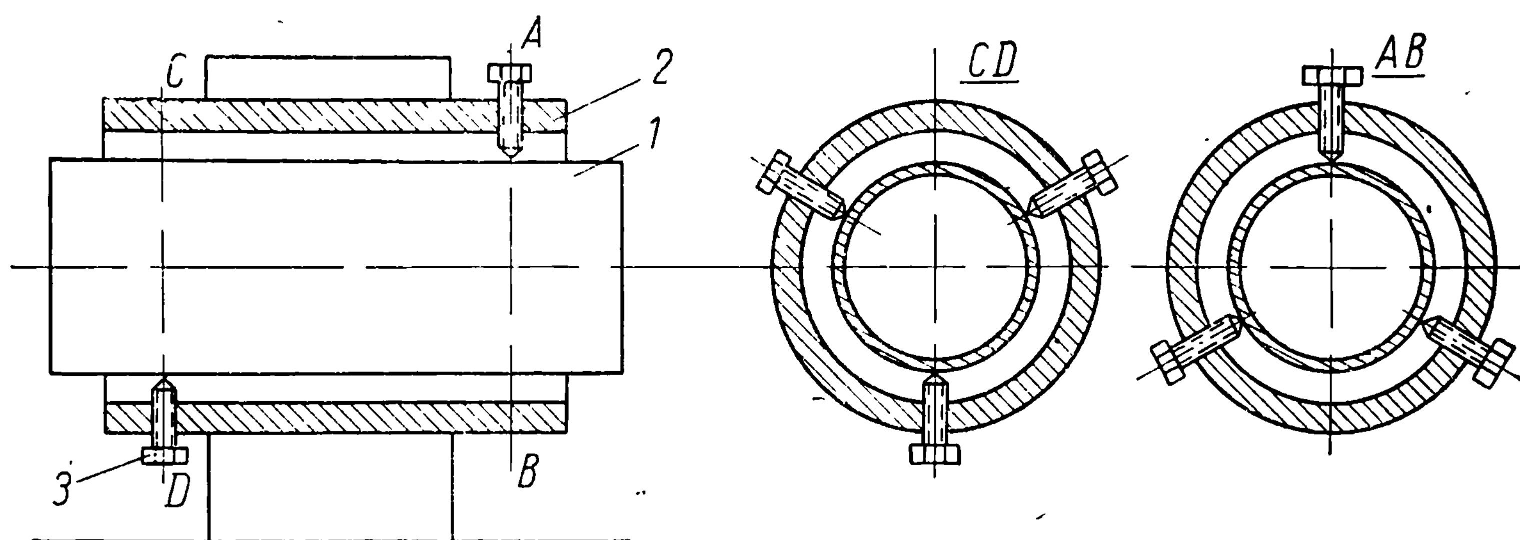


Рис. 111

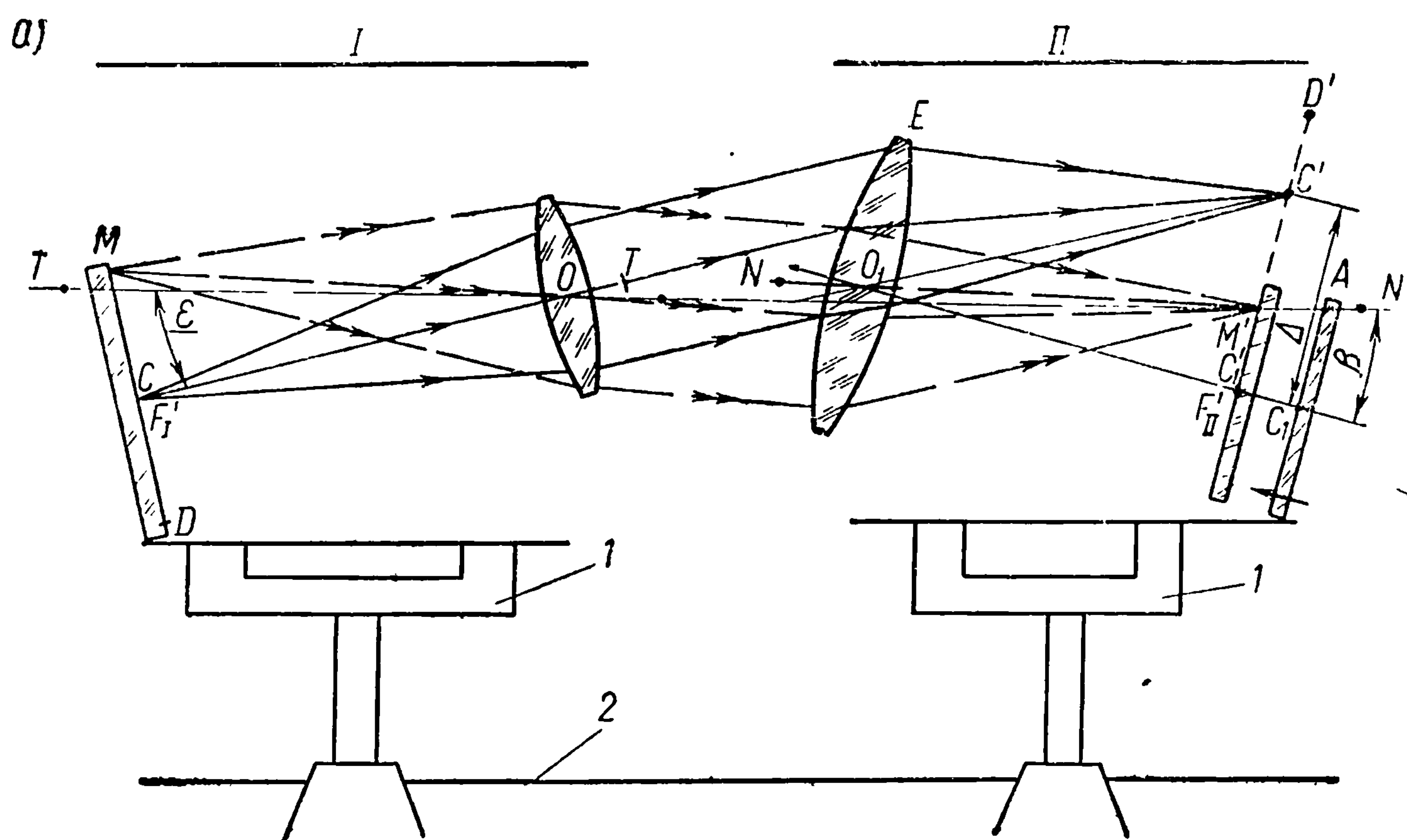
ружной трубе *2* при помощи шести винтов *3* в двух сечениях прибора *AB* и *CD* (рис. 111).

Коллиматоры с трубой и фокусным расстоянием объектива свыше 1 *м* должны быть разгружены во избежание прогиба трубы, приводящего к ее децентрировке.

Рассмотрим причины, приводящие к наклону визирной оси *OC* коллиматора относительно геометрической оси *TT* его трубы, и как этот наклон может отразиться на юстировке приборов, выполненной по данному коллиматору (рис. 112, *а*).

Пусть на рис. 112, *а* в юстировочном (эталонном) коллиматоре *I*, установленном на призмах *1* оптической скамьи *2*, визирная ось *OC* наклонена к геометрической оси *TT* трубы на

угол ε. Требуется установить сетку A коллиматора II в фокус F'_{II} его объектива E по коллиматору I, причем труба II также лежит в призмах оптической скамьи и можно считать, что геометрические оси труб TT и NN обоих коллиматоров совпадают или параллельны друг другу. Пусть в общем случае визирная



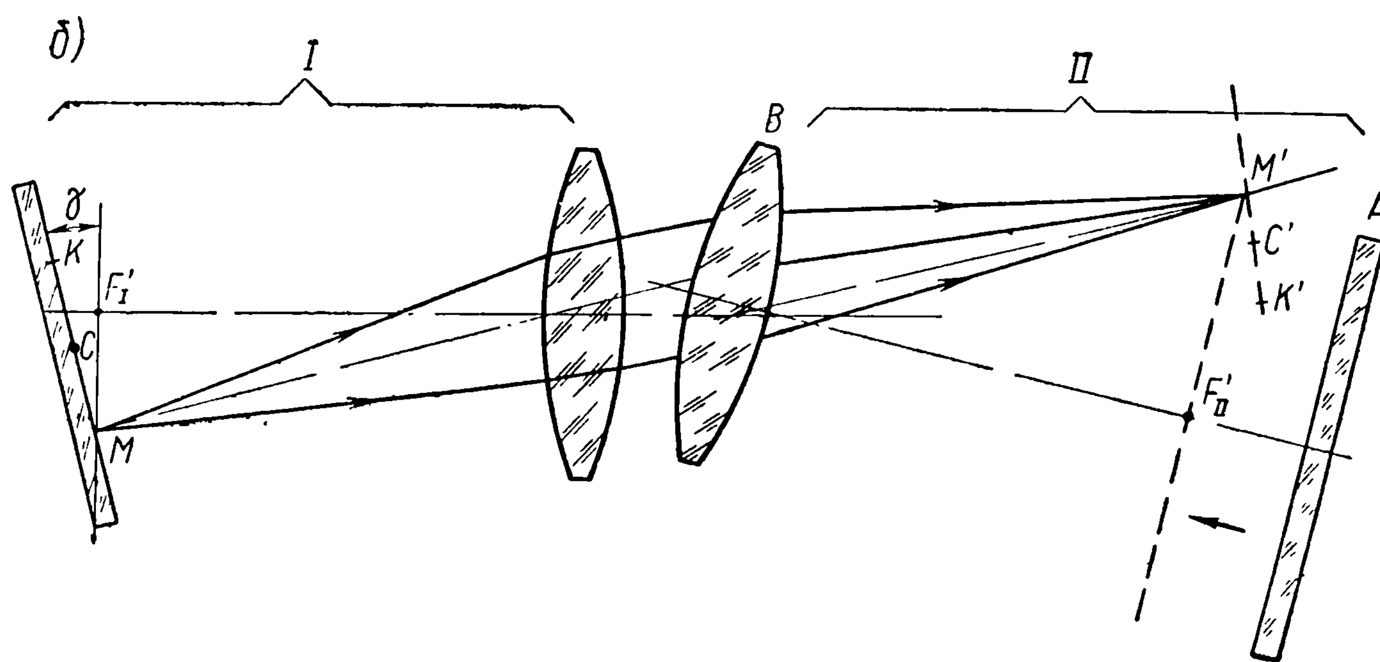


Рис. 112

ось O_1C_1 коллиматора II также наклонена к оси его трубы на угол β, причем $\beta \neq \varepsilon$ ни по абсолютному значению, ни по знаку.

Построив ход лучей, идущих от сетки MCD коллиматора I, замечаем, что изображение $M'C'D'$ сетки будет находиться в фокальной плоскости объектива коллиматора II так же, как если бы оптические оси обоих коллиматоров совпадали друг с другом или были бы параллельны, т. е. сетку A следует переместить в плоскость $M'C'D'$. Очевидно, конечно, что при этом изображение C' центра C сетки коллиматора I сместится отно-

сительно центра C_1 сетки второго коллиматора к краю поля зрения, что при значительной его кривизне может привести к параллаксу.

В связи с тем, что поле зрения коллиматоров, предназначенных для установки сеток в нулевое положение, обычно мало ($\approx 10°$), кривизна поля ощутимо сказаться не может и, следовательно, наклоны визирных осей коллиматоров (или зрительных труб) на установку сетки в нулевое положение не влияют. Если же наклонить сетку эталонного коллиматора *I* на некоторый угол γ, сместив, таким образом, центр *C* сетки с оптической оси объектива (рис. 112, *б*), то, очевидно, установить

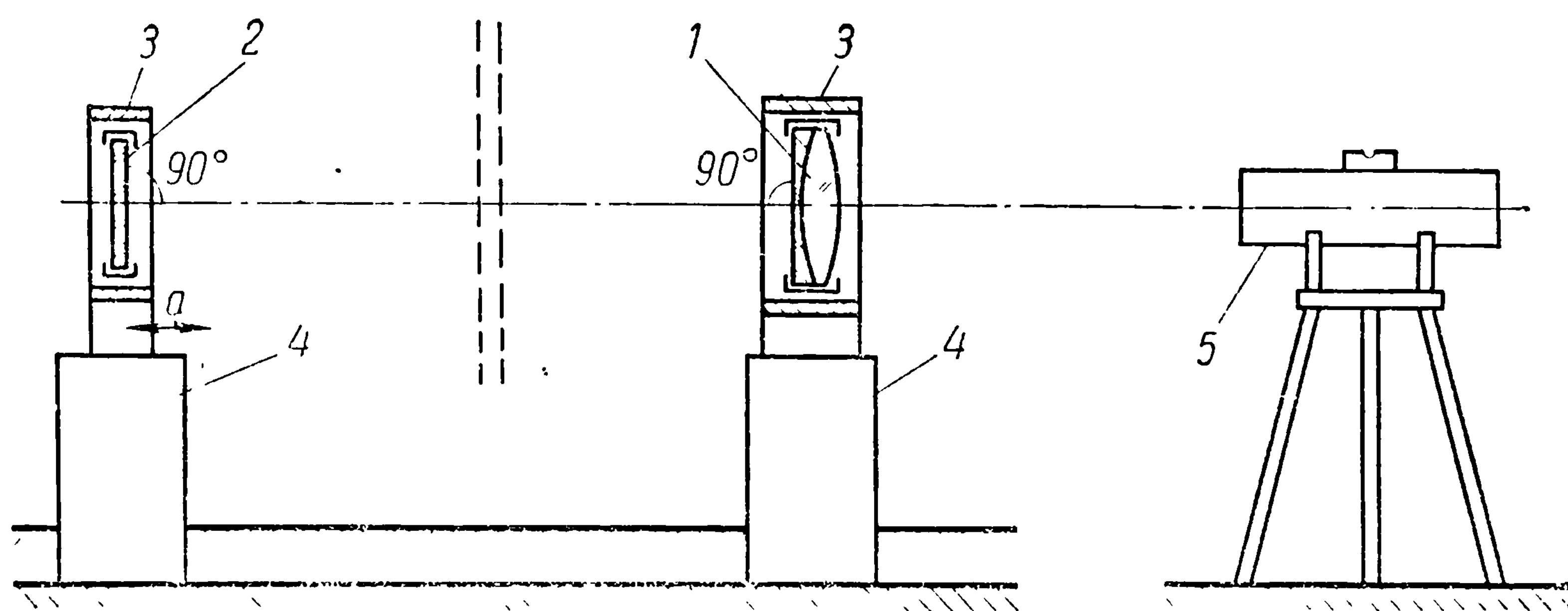


Рис. 113

сетку *A* коллиматора *II* по сетке коллиматора *I* нельзя, так как изображение *K'M'* сетки *KM* не будет нормальным оптической оси объектива коллиматора *II*. Поэтому сетку *A* совместить с фокальной плоскостью объектива *B* точно не удастся, так как сетку придется совмещать только с одной точкой изображения *M'K'* сетки коллиматора *I* (точкой *M'*). Очевидно также, что для схемы рис. 112, *а* нельзя центрировать сетку *A* коллиматора *II* по сетке коллиматора *I*, так как центр C_1 сетки *A* пришлось бы совместить с точкой *C'*, сместив его с оптической оси коллиматора *II* на величину Δ.

При юстировке дальномеров с большими увеличениями и базами применяются коллиматоры, объективы которых имеют фокусное расстояние $\approx 10 \div 20$ *м*. В этом случае объектив и сетка коллиматора трубой не связаны (рис. 113). При диаметрах объектива порядка 100 *мм* их относительные отверстия становятся весьма небольшими. Это позволяет применять объективы с невысоким качеством изображения, например даже одиночные положительные линзы. Объектив *1* и сетка *2* в оправах крепятся в устройствах *3*, установленных на железобетонных основаниях тумб *4*, связанных с фундаментом здания (но не с полом во избежание дрожания или вибраций). Устройства *3* должны

позволять юстировать сетку в фокус объектива (по стрелке *а*), центрировать сетку и объектив и обеспечивать нормальность сетки и объектива визирной оси. Положение визирной оси коллиматора обеспечивается прецизионным нивелиром *5*, ось которого установлена горизонтально по уровню. После выполнения

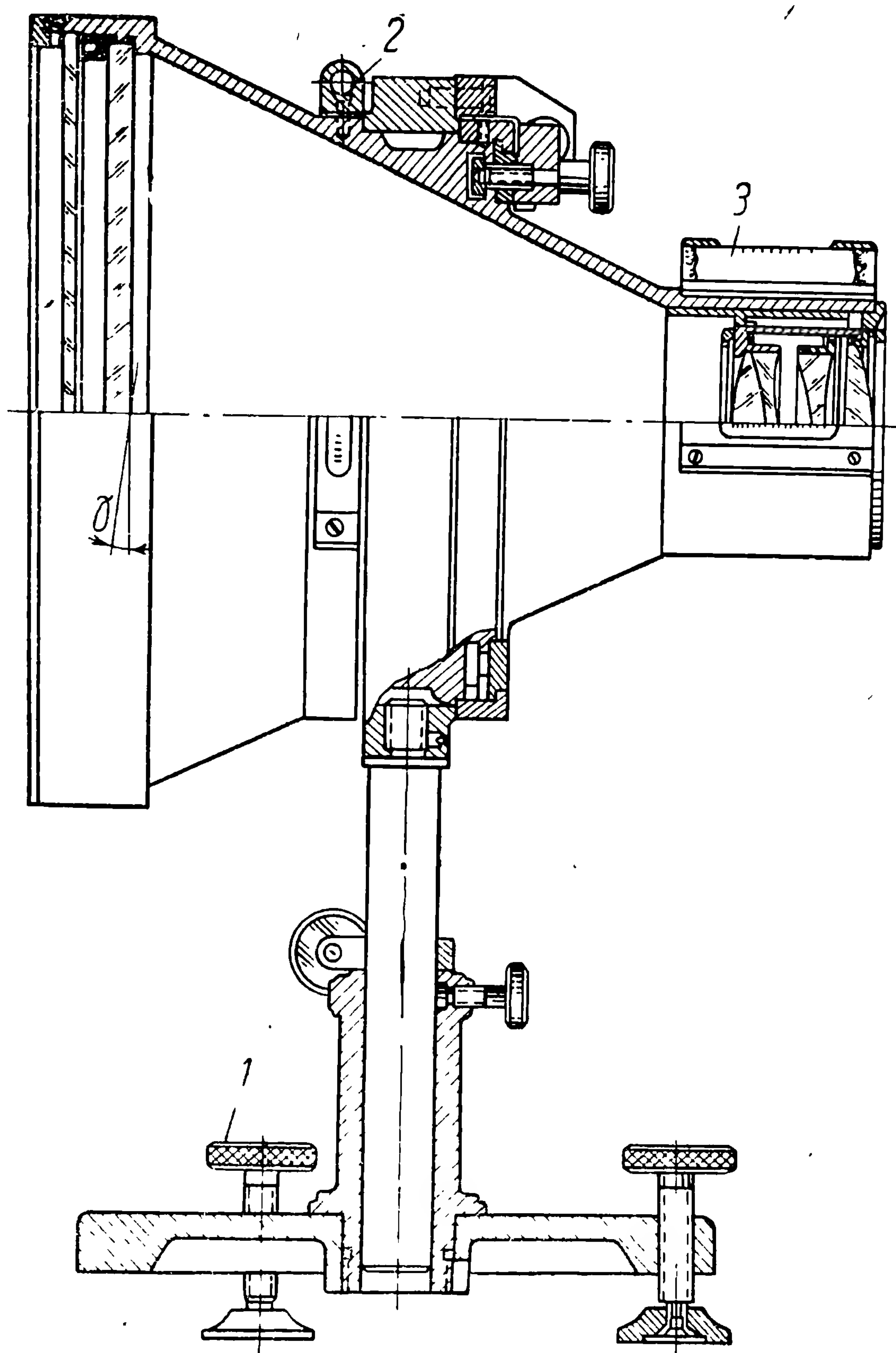


Рис. 114

юстировок сетка и объектив должны надежно крепиться. Объектив контролируется на натяжения при помощи поляризационных приборов и на качество изображения по мире или изображению точки (см. § 12).

Наклон сетки (угол γ рис. 112, *б* и 114) коллиматора имеет практическое значение для широкоугольных коллиматоров с большими размерами сеток (рис. 114). При наклоне сетки шкала или перекрестие, нанесенные на ней, будут на краях поля видны нерезко. Для этих же коллиматоров следует проверять цену деления сетки, особенно на краю поля. Расчет делений

шкалы сетки в этом случае необходимо производить для фактического фокусного расстояния объектива коллиматора после его измерения. При расчете шкалы следует оценить и учесть дисторсию объектива.

Погрешность dy линейного значения y цены деления сетки коллиматора найдется из соотношения

$$\operatorname{tg}\varepsilon = \frac{y}{f'}, \tag{131}$$

где f' — фокусное расстояние объектива коллиматора;
ε — угловое значение цены деления сетки.

Логарифмируя и дифференцируя выражение (131), получим

$$\frac{dy}{y} = \frac{df'}{f'} + \frac{d\operatorname{tg}\varepsilon}{\operatorname{tg}\varepsilon}. \tag{132}$$

Так как

$$d\operatorname{tg}\varepsilon = \frac{1}{\cos^2\varepsilon}\,d\varepsilon,$$

то

$$\frac{dy}{y} = \frac{df'}{f'} + \frac{d\varepsilon}{\cos^2\varepsilon\operatorname{tg}\varepsilon} = \frac{df'}{f'} + \frac{d\varepsilon}{\cos\varepsilon\sin\varepsilon}. \tag{133}$$

Пренебрегая последним членом ввиду его малости, получим

$$dy = y\,\frac{df'}{f'}. \tag{134}$$

Для широкоугольных коллиматоров следует проверять и поле зрения. Объектив коллиматора должен давать хорошую разрешающую способность и качество изображения по всему полю. Поле должно быть плоским.

Фокусное расстояние объективов таких коллиматоров составляет $210 \div 270$ *мм*; относительное отверстие равно $\approx 1:4$, $1:5$; поле зрения — $45 \div 50°$. Визирная ось широкоугольных коллиматоров обычно может регулироваться с помощью трех винтов *1* по уровням *2* и *3* (рис. 114) путем наклона трубы коллиматора.

§ 41. Зрительные и автоколлимационные трубы без зеркал, призм и оборачивающих систем

Общие сведения

Методика сборки зрительных труб сходна со сборкой коллиматоров, но несколько сложнее, так как у труб больше сборочных узлов конструкции (окуляр, оборачивающие системы); кро-

ме того, в ряде случаев необходимо обеспечить установку окуляра на резкое видение сетки прибора по глазам наблюдателя, а иногда и фокусировку трубы на близкий предмет.

Сборочный процесс зрительных труб определяется их конструкцией, точностью юстировок и возможностями их выполнения. Простейшая зрительная труба имеет объектив и положительный или отрицательный окуляр. Трубы с положительным окуляром дают перевернутое изображение, а потому применяются сравнительно редко в качестве юстировочных, а также в геодезии и астрономии. Труба с отрицательным окуляром, т. е. труба Галилея, широко используется в биноклях — морских и театральных (сборка их рассматривается в § 48).

Простые зрительные трубы

На рис. 115, *а* представлена конструкция одной из простых зрительных труб, применяющаяся в качестве дополнительной при контроле разрешающей силы труб (см. § 12). Труба состоит

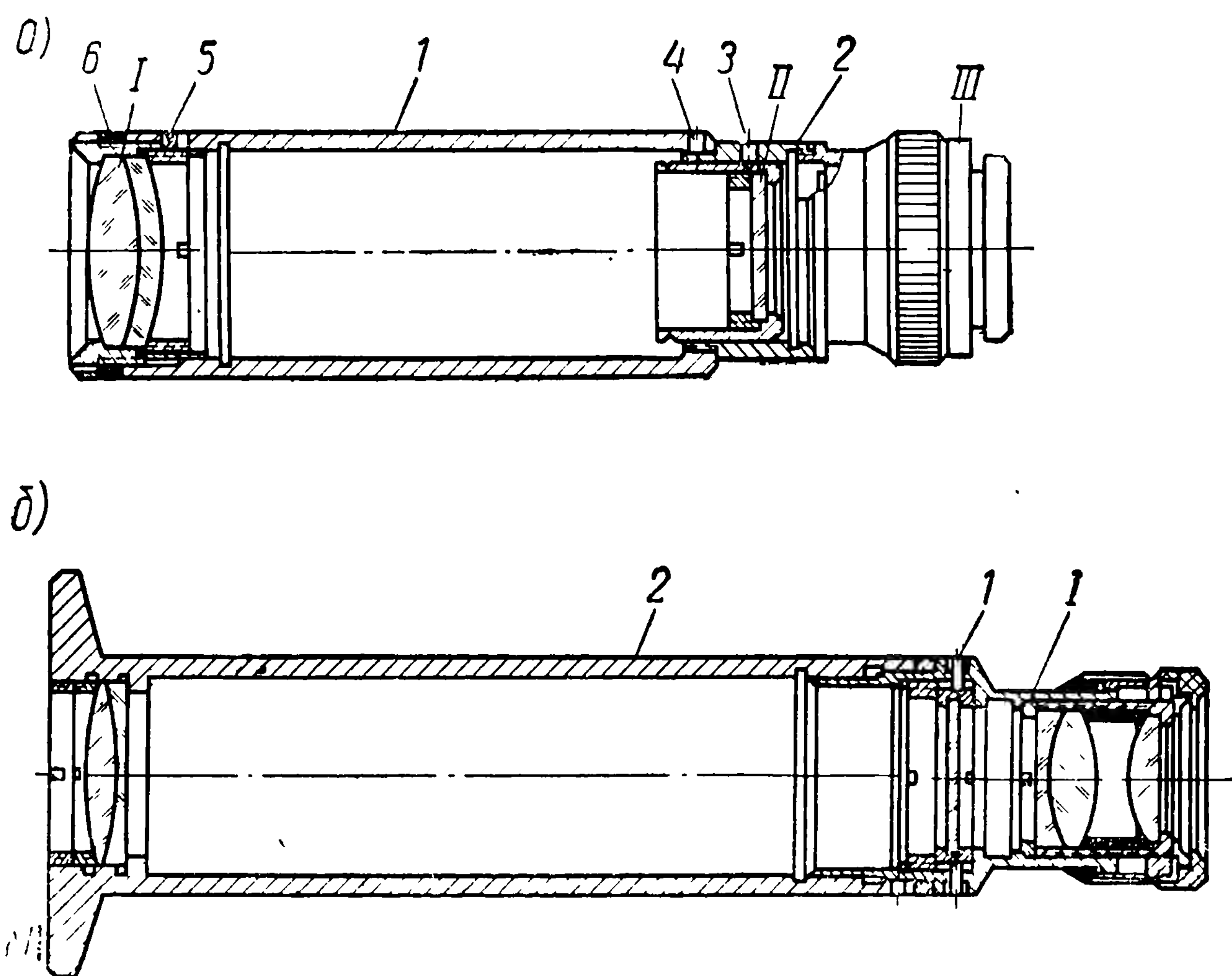


Рис. 115

из следующих предварительных оптических сборок — узлов: *I* — объектив в оправе (сборка прижимным кольцом); *II* — сетка в оправе (собираемая так же, как и объектив); *III* — окуляр в оправе. Указанные узлы соединяются трубой *1* и корпусом *2*. Конструкция позволяет вести окончательную сборку двумя способами. В первом случае можно перемещением узла сетки установить ее в фокус окуляра (см. § 28). Закрепив оправу сетки *II*

стопором *3* в корпусе *2*, присоединяют далее к корпусу *2* трубу *1*, закрепляя ее стопором *4*. Ввернув сборку *I* объектива в трубу *1*, добиваются совпадения его заднего фокуса с плоскостью штрихов сетки (см. § 9). После этого оправа объектива фиксируется в трубе *1* стопором *5*. Герметичность крепления узла объектива достигается замазкой *6*.

При другом способе сборки сначала крепят сборку объектива в трубе *1*, а затем ввертывают в трубу отъюстированный узел окуляра с сеткой, добиваясь совмещения ее штрихов (или перекрестия) с задним фокусом объектива.

На рис. 115, *б* представлена конструкция трубы, положение визирной оси которой относительно геометрической оси трубы юстируется перемещением сетки при помощи четырех винтов *1*. Поскольку отверстия под винты в трубе фиксируют положение узла сетки относительно объектива и окуляра, окончательная сборка трубки будет выполняться по отношению к этому узлу, который первым укрепляется в трубе *2*. Далее по сетке устанавливают объектив и окуляр в нулевые положения. Заключительной операцией сборки и юстировки трубки является центрировка сетки.

Автоколлимационные трубы

Сборка простых автоколлимационных труб без призм и зеркал не отличается от сборки простых зрительных труб, что легко видеть из рис. 116, представляющего разрез автоколлимационной трубы с окуляром Гаусса. Сетка *4* может вращаться

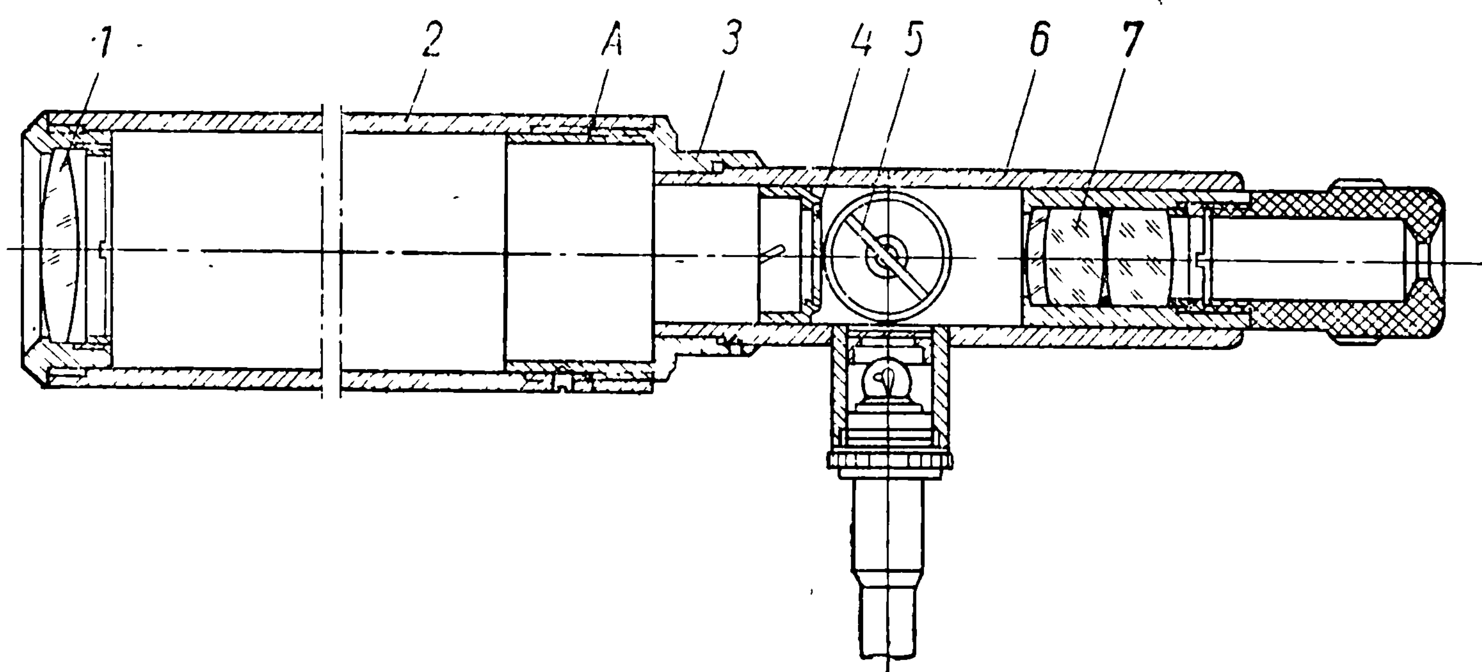


Рис. 116

вокруг оси трубы *6* и передвигаться вдоль ее для установки в фокус окуляра *7*, который также имеет возможность перемещаться вдоль оси. Сборка объектива *1* ввинчена в трубу *2*, которая для совмещения заднего фокуса объектива с сеткой может перемещаться с помощью резьбы *A* относительно корпуса *3*,

в котором закреплена труба *6* с сеткой и окуляром *7*. Трубы, используемые в качестве юстировочных, должны выверяться очень тщательно, особенно на параллакс и центрировку.

§ 42. Трубы с фокусировкой на близкий предмет

К трубам, имеющим фокусировку на близкий предмет, относятся астрономические трубы, применяемые для решения различных сборочно-юстировочных задач, и трубы нивелиров и теодолитов.

Трубы первого вида осуществляют фокусировку на близкий предмет перемещением узла окуляра и сетки относительно заднего фокуса объектива. Такая фокусировка называется в н е ш н е й. В геодезических трубах фокусировка выполняется изменением положения линзового компонента между объективом и сеткой. Такая фокусировка называется в н у т р е н н е й.

Сборка трубы с внутренней фокусировкой

Такие трубы широко применяются в геодезических приборах — нивелирах и теодолитах.

Сборка труб должна обеспечить высокую разрешающую силу оптической системы и отличное качество изображения. Для обеспечения постоянства линии визирования необходима высокая точность центрировки системы, сохраняемая при передвижении фокусирующего компонента в заданном интервале. Все эти требования выполняются главным образом за счет выдерживания достаточно жестких допусков на изготовление механических и оптических деталей, тщательной взаимной пригонки ряда механических деталей и комплектации деталей и узлов прибора. Взаимозаменяемость деталей не предусматривается, так как приборы выпускаются небольшими партиями.

Рассмотрим кратко сборку и юстировку трубы теодолита ОТ-02. Труба (рис. 117) дает обратное изображение и имеет отрицательный компонент *17*, передвигающийся вдоль оси трубы для фокусировки на близко расположенные к прибору предметы. Труба имеет три сменных окуляра (сб. *IV*), обеспечивающих соответственно:

видимое увеличение трубы	24^{x}	30^{x}	40^{x}
угол поля зрения трубы	1°40′	1°20′	1°
диаметр зрачка выхода	2,5 *мм*	2,0 *мм*	1,5 *мм*

Разрешающая способность объектива 2″,4; эквивалентное фокусное расстояние телеобъектива (объектив + фокусирующий компонент) 350 *мм*; предел фокусирования трубы от 5 *м* до бесконечности.

Конструкция трубы состоит из четырех узлов: сборка *I* (собственно объектив в оправе, см. § 26, рис. 59); сборка *II* (фокусирующий компонент); сборка *III* (сетка в оправе); сборка *IV* (окуляр).

Обеспечение высокой разрешающей силы осложняется осевым передвижением фокусировочного компонента, при котором возможны его поперечные смещения, ухудшающие центрировку трубы. Поэтому одним из основных вопросов сборки является

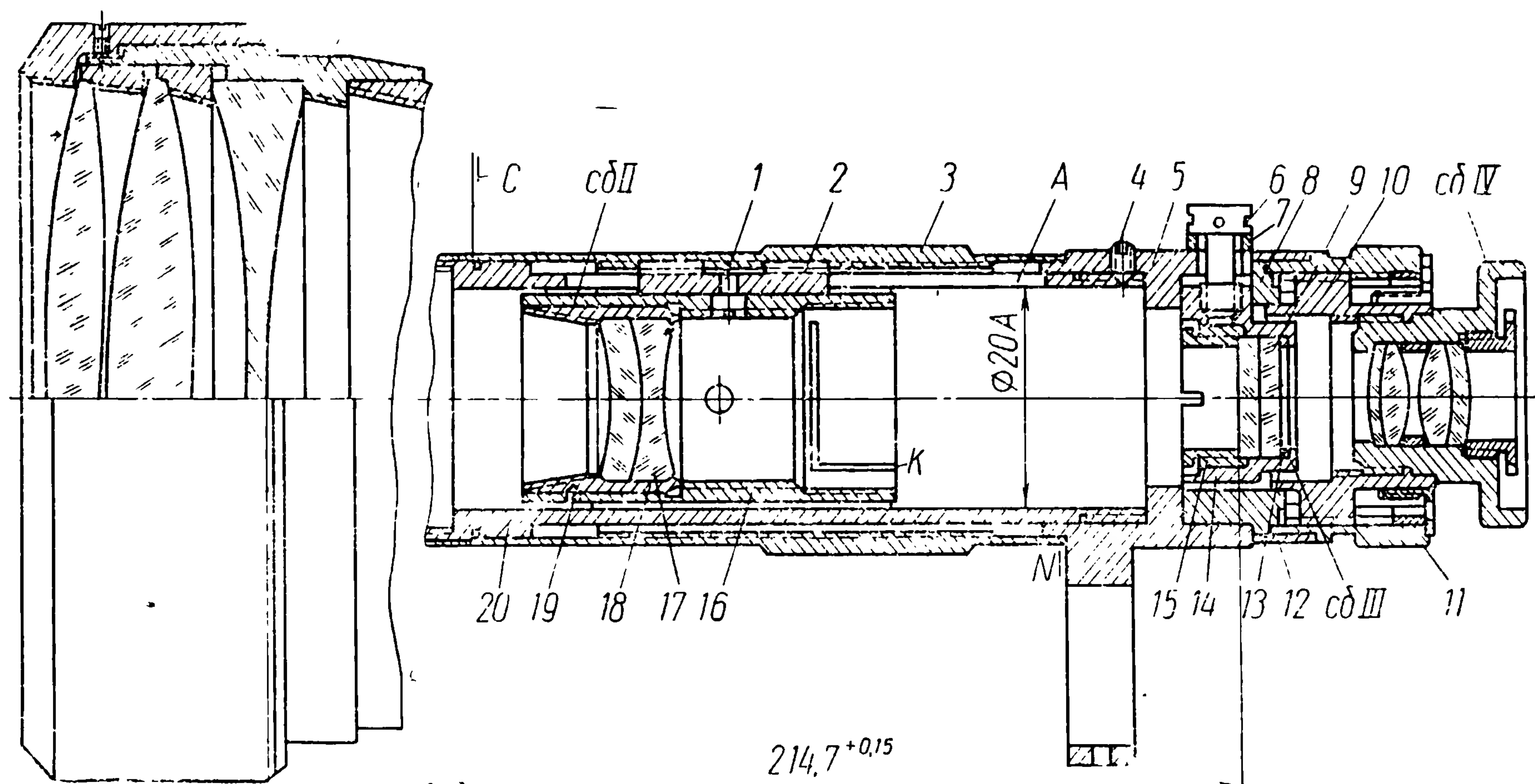


Рис. 117

обеспечение высокой точности центрировки системы. Этого можно достичь при высокой соосности сборки *I* объектива, корпуса трубы *20* и узла *II* фокусировочного компонента *17*, что обеспечивается технологией сборки этих узлов, а также высокой точностью обработки некоторых деталей.

Рассмотрим кратко в качестве примера точной обработки таких деталей основные вопросы изготовления корпуса трубы *20* (рис. 117 и 118).

Предварительную обработку корпуса трубы *1* производят на специальной резьбовой оправке *2* (рис. 119, *а*), нарезав на детали предварительно технологическую резьбу 5M56×0,5. Обточив трубу предварительно с большими припусками на дальнейшую обработку, подвергают ее нормализации для снятия внутренних напряжений. После этого поверхности, которые не являются посадочными (например, конические участки), обрабатываются окончательно. Ответственными посадочными поверхностями в трубе, влияющими на центрировку системы, являются внутренняя цилиндрическая поверхность ∅ 20A (посадочная поверхность для оправы фокусирующей линзы), резьба СпМ

54×0,5 (на которую навинчивается сборка объектива), резьба СпМ 23×0,5 (на которую навинчиваются окуляры)*.

Все указанные поверхности также обрабатывают сначала с большими припусками на дальнейшую обработку, после чего подвергают трубу паркеризации, чернению и оксидированию.

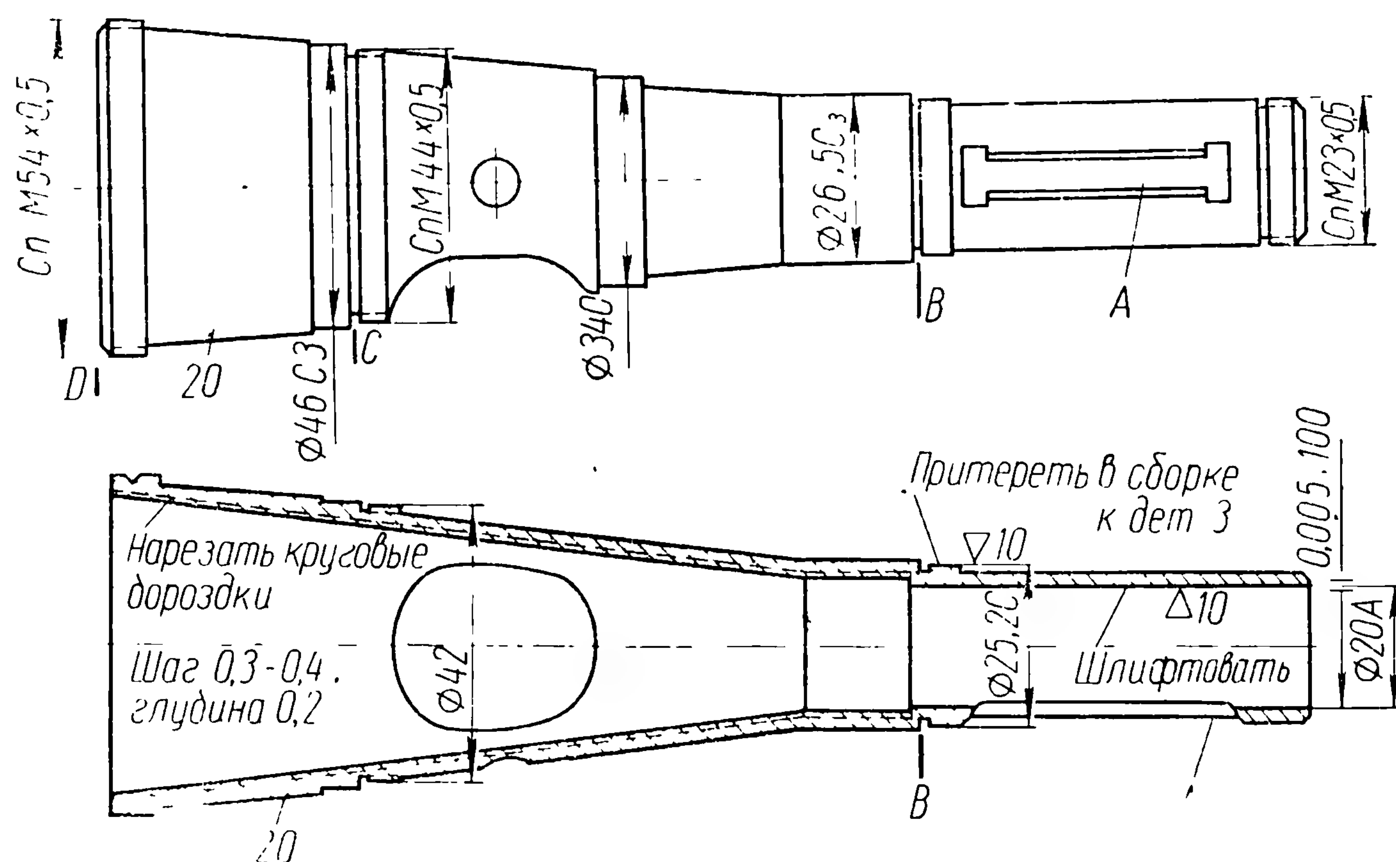


Рис. 118

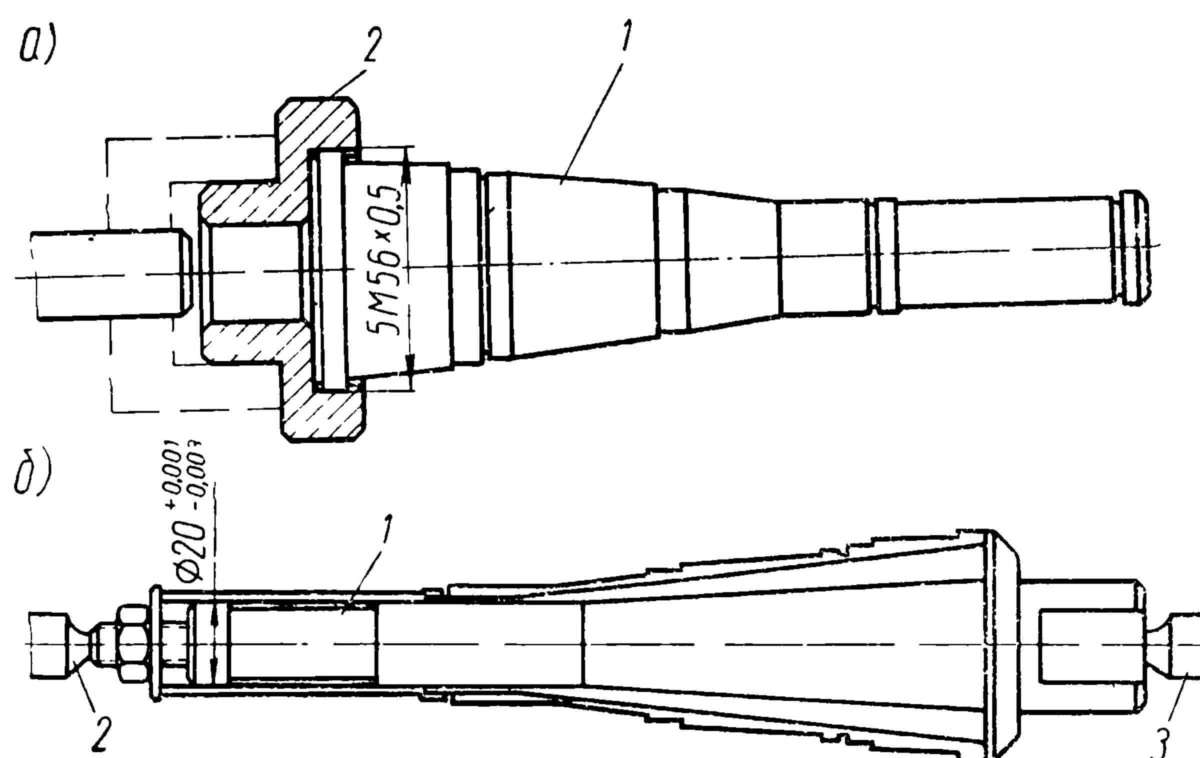


Рис. 119

Базой для дальнейшей точной обработки трубы является поверхность ϕ 20 А, обрабатываемая на оправке *2* (рис. 119, *а*). Поверхность шлифуется и притирается на нескольких оправках сначала до ϕ 19,99 А с обеспечением параллельности 0,001 : 100

* Для сборки трубы с осью ее вращения (кубом) весьма важны также посадочная поверхность ∅ 34 С и резьба СпМ 44×0,5, с помощью которой труба крепится с кубом (на рис 118 не показан).

и эллиптичности 0,01, а далее до ⌀ 20 А с параллельностью 0,005 : 100 и эллиптичностью 0,005 для достижения соосности с резьбой СпМ 54×0,5. Торец ⌀ 54 подрезается окончательно параллельно торцу ⌀ 20 А, обеспечивая биение торца не более 0,005.

Дальнейшая обработка трубы ведется на оправке *1* (рис. 119, *б*), в которой посадочный диаметр 20 А выдержан с точностью +0,001 ÷ —0,003. Весьма важно, чтобы биение оправки в центрах *2* и *3* было не более 0,002. Обеспечиваются посадочные резьбы ⌀ 25; 2С — посадочное место для кремальеры *3* (рис. 118); подрезаются торцы *В* (на него опирается кремальера) и *С* (обеспечивается правильное положение куба трубы, на рис. 117 куб не показан). Для уменьшения бликов, возникающих при отражении света от внутренней поверхности трубы, на ней нарезают круговые бороздки (рис. 117).

Сборка узла *I* (объектив в оправе) описана в § 27.

Сборка узла *II* (фокусирующий компонент). Сборка (рис. 117) состоит из следующих деталей: двухлинзового склеенного фокусирующего блока *17*, оправы фокусирующего компонента *18*, корпуса фокусирующего компонента *16*, стопорного винта *19*, сухаря с нарезкой *2*.

Основной задачей сборки узла является обеспечение точного совпадения оси объектива с осью фокусирующего компонента в диапазоне его передвижения при фокусировке. Для выполнения этого требования необходимо правильно центрировать блок *17* фокусирующего компонента относительно оси его корпуса *16* и обеспечить строгое совпадение оси блока с осью корпуса трубы *20* при фокусировке. Хорошее качество сборки узла требует совместной механической сборки оправы *18* фокусирующего компонента с его корпусом *16*, корпуса и сухаря *2* с корпусом трубы *20* и серьгой *5*. Практически целесообразно вести сборку данного узла совместно со сборкой всей трубы.

Можно выделить три группы операций сборки данного узла:

I) совместную подгонку сухаря *2*, корпуса трубы *20*, кремальеры *3* (связанной резьбой с сухарем *2*) и серьги *5* (предварительная механическая сборка);

II) сборку узла фокусирующего компонента (детали *16*, *17*, *18*; предварительная оптическая сборка);

III) соединение узла фокусирующего компонента с сухарем *2* и кремальерой *3* при окончательной сборке трубы.

Операции первой группы ведутся следующим образом:

1) сухарь *2* притирается к направляющим паза *А* трубы *20* (рис. 117 и 118), по которому он должен плавно перемещаться при фокусировке;

2) сухарь вставляется в трубу и на нее навертываются кремальера *3* и серьга *5*;

3) кремальера путем вращения притирается к трубе, серьге и сухарю;

4) детали разъединяются и клеймятся одним номером, обеспечивающим их комплектацию;

5) детали промываются, протираются, сушатся и подвергаются внешней отделке по чертежам.

В сборку *II* узла фокусирующего компонента входят следующие операции:

1) притирка наружной поверхности оправы *18* к внутренней поверхности корпуса *16*;

2) шлифовка и притирка диаметра 20 А корпуса *16* (рис. 117) по внутренней поверхности трубы *20* до плавного, но довольно тугого хода. Такая доводка производится путем сжатия и разжатия корпуса *16*, пользуясь его прорезями *К*. Трущиеся поверхности затем покрываются смазкой. Качество подгонки корпуса *16* к трубе проверяется окончательно после сборки всего прибора;

3) завальцовка блока фокусирующего компонента *17* в оправу *18* при помощи весьма точно изготовленной специальной оправки (биение конической части оправки не должно быть более 0,002 *мм*);

4) сборка оправы *18* с фокусирующим компонентом *17* и с корпусом *16*. Сборка вставляется в корпус; в стенке оправы через отверстие в стенке корпуса зенкуется канавка под стопорный штифт *19*.

Сборка *III* (узел сетки). Сборка состоит из следующих деталей: оправы *14* сетки, сетки *9* (склеенной с покровным стеклом), параллаксного кольца *13* и прижимного кольца *15*.

Допуски, установленные на обработку этих деталей, позволяют не проводить предварительной сборки. Поэтому целесообразно собирать весь этот узел непосредственно со сборкой всей трубы. При сборке этого узла необходимо добиться центрировки трубы (совмещения центра сетки с оптической осью объектива) и вертикального положения штрихов сетки без разворота (см. § 8) (наклон сетки в плоскости чертежа трубы практически исключается допусками на изготовление деталей).

Окончательная сборка трубы. Сборка корпуса *16* с фокусирующим компонентом *17* вставляется в корпус *20* трубы. Объектив (сб. *I*) навинчивается на корпус трубы *20*. Разворотом корпуса *16* добиваются наилучшей центрировки компонента *17* относительно объектива. Штифт *1* запрессовывается в сухарь *2*, раскернивается и спиливается заподлицо с поверхностью корпуса *16*. Сухарь *2* вставляется в паз трубы *20* и соединяется с корпусом *16* фокусирующего компонента штифтом *1*, головка которого вводится в отверстие в стенке корпуса *16*. Кремальера *3* навертывается на сухарь *2* до упора в торец *С* корпуса трубы *20*, после чего на правый ее конец навертывается серьга *5* до упора в торец *N* корпуса трубы *20* и стопорится винтом *4*.

Собирается узел сетки: в оправу *14* по чертежу устанавливается параллаксное кольцо *13*. Сетка и кольцо предварительно поджимаются кольцом *15*. В серьгу *5* вставляются корпус сетки *8* и узел сетки (сб. *III*). Вся сборка закрепляется в серьге тремя винтами *6*, под головки которых помещают шайбы *7*. Высота параллаксного кольца *13* должна обеспечить размер $214{,}7^{+0{,}15}$* (см. рис. 117), при котором сетка оказывается в нулевом положении. При необходимости устранить параллакс кольцо либо подрезается, либо заменяется. Устранение разворота сетки (см. § 8) достигается поворотом оправы сетки с винтами *6* в пределах отверстий для них. Эта операция выполняется по коллиматору или отвесу.

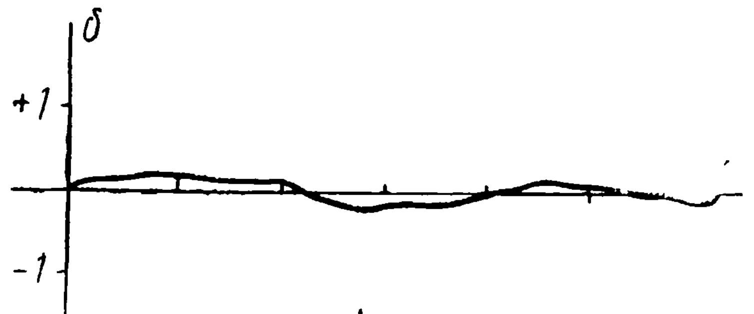


Рис. 120

Сборка окулярной части, производимая обычным путем (см. § 28), должна обеспечить установку окуляра в нулевое положение относительно сетки и обеспечить его передвижение на $\pm 5D$.

Из рис. 117 ясно, что если между корпусом *16* и корпусом трубы *20* имеется люфт, то при перемещении компонента *17* в процессе фокусировки трубы визирная ось будет наклоняться на угол, величина которого

$$\varepsilon = \frac{l - e}{f_2' f_{1,2}'} \delta, \qquad (135)$$

где l — постоянная длина трубы;

e — переменная величина, определяющая положение фокусировочного компонента при фокусировке трубы;

f_2' — заднее фокусное расстояние фокусирующего компонента;

$f_{1,2}'$ — эквивалентное фокусное расстояние телеобъектива;

δ — величина радиального смещения фокусирующего компонента при его перемещении.

Как указывалось выше, достаточная точность центрировки фокусирующего компонента достигается высокими классами точности сопрягающихся деталей (второй класс).

Ход фокусировочного компонента *17* проверяется путем специальных полевых испытаний прибора. В результате обработки полученных данных строят график (рис. 120), характеризующий отклонения центра фокусирующего компонента от визирной оси системы при движении компонента.

---

* Этот размер на чертеже не выдержан.

СБОРКА ТРУБЫ С ВНЕШНЕЙ ФОКУСИРОВКОЙ

На рис. 121 представлена одна из конструкций труб с внешней фокусировкой. Труба состоит из предварительно собираемых оптических узлов (*I* — объектив в оправе и *II* — окуляр с сеткой) и механических сборок (внутренней подвижной трубы *1* с зубчатой рейкой *2* и неподвижной трубы *3* с направляющим корпусом *4*).

При механической сборке добиваются плавного движения трубы *1* в корпусе *4* без заедания, рывков и качки.

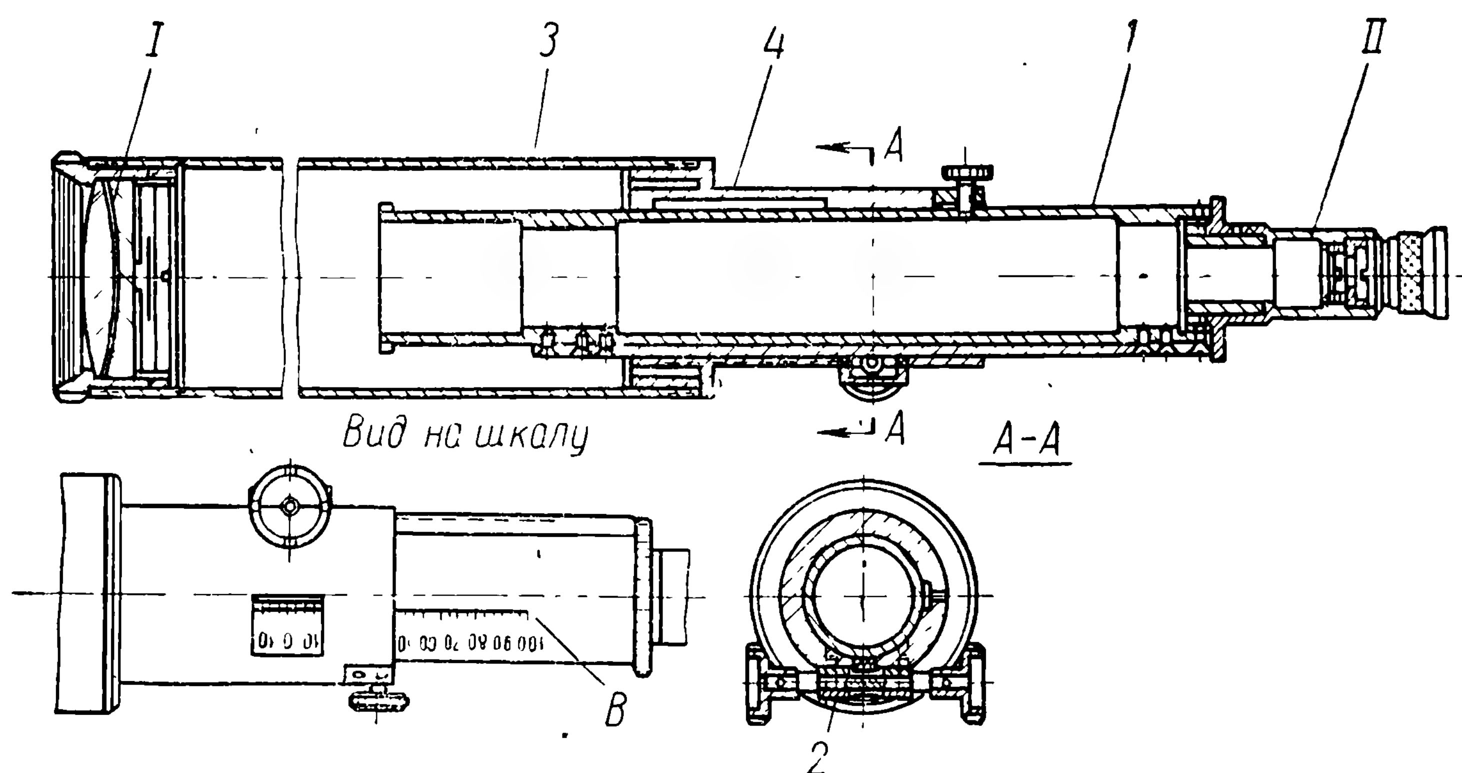


Рис. 121

Окуляр с сеткой собирается обычным путем (см. § 28). Поскольку окуляр с сеткой при фокусировке имеет перемещение относительно заднего фокуса объектива, то при окончательной сборке трубы узел объектива можно установить в трубе без юстировки.

В связи с тем, что сетка перемещается вместе с трубой *1*, необходимо обеспечить, чтобы оптическая ось объектива совпадала с геометрической осью посадочной поверхности корпуса *4* под трубу *1*. Эта поверхность должна растачиваться соосно с отверстием под резьбу для оправы объектива (более подробно см. сборку трубы с внутренней фокусировкой).

Величина перемещения окулярной части при фокусировке устанавливается по шкале *B*, закрепленной на подвижной трубе *1*, по индексу, связанному с корпусом *4*. При установке сетки в заднем фокусе объектива нулевое деление шкалы должно быть совмещено с индексом. Если шкалу передвигать при юстировке нельзя (шкала нанесена непосредственно на подвижной трубе), то может получиться, что для предмета, находящегося на бесконечности, отсчетный индекс будет совпадать с каким-

либо другим делением шкалы. В этом случае около этого деления необходимо гравировать знак ∞ (бесконечность).

Астрономические трубы применяются главным образом для юстировки труб на параллакс. Поэтому фокусное расстояние объектива всегда значительное — от 400 до 2000 *мм*. Относительное отверстие объектива — порядка 1 : 10. Для обеспечения хорошего качества изображения объективы состоят из двух или трех линз с воздушными промежутками между ними. Для уменьшения напряжений объективы закрепляются прижимным кольцом с помощью пружинящего кольца (см. рис. 57, *г*).

§ 43. Трубы с линзовыми оборачивающими системами

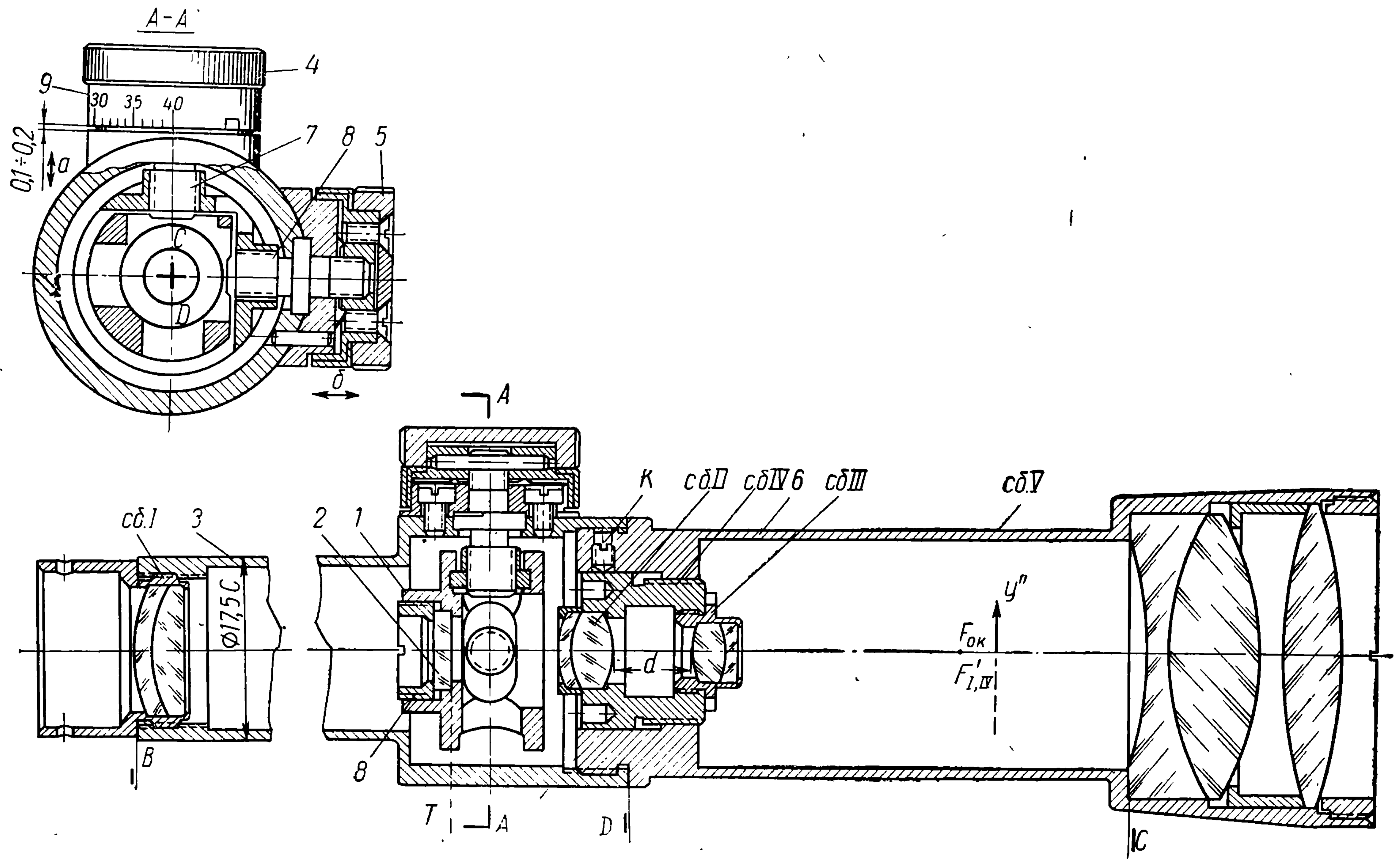
Как указывалось в § 4, оборачивающие системы бывают с параллельным и непараллельным ходом лучей между их компонентами (см. рис. 1, *г* и *д*). Их сборки рассмотрены в § 29. Сборка трубы с оборачивающей системой и параллельным ходом рассмотрена в § 44 для перископа, имеющего призмы. В данном параграфе рассматривается процесс сборки прицела, оборачивающая система которого имеет непараллельный ход лучей.

Схема оптики прицела (аналогичная схеме на рис. 1, *д*) понятна из рис. 122. Окончательное изображение y'' объекта, даваемое оборачивающей системой, образуется между передним фокусом $F_{ок}$ окуляра и самим окуляром, так как он имеет установки по глазу и должен обеспечивать в таком случае расходимость выходящих из окуляра лучей с оптической силой порядка $0{,}5 \div 0{,}7\,D$ (см. § 28).

Объектив в оправе (сб. *I*), первый компонент оборачивающей системы (сб. *II*) и второй компонент ее (сб. *III*) собираются обычным образом завальцовкой (см. § 27).

Сборка и юстировка оборачивающей системы с непараллельным ходом лучей (сб. *IV*) рассмотрена в § 29 (рис. 63, *б*). В данном случае эталонная сетка *II* должна быть выставлена по отношению к окуляру между ним и его передним фокусом (рис. 122) для обеспечения заданной сходимости лучей, выходящих из окуляра.

Отъюстировав сборку *IV* и обеспечив в ней нужный размер d (рис. 122), собирают окуляр в трубе *6* и юстируют сборку *IV* относительно окуляра на специальной установке (рис. 123, *а*), получая таким образом сборку *V*. Юстировочная установка (рис. 123, *а*) включает эталонную сетку *I*, установленную относительно трубы *6* окуляра так, чтобы при перемещении (по стрелке *а*) сборки *IV* в трубе относительно окуляра и установке ее на расстоянии $-s$ от эталонной сетки *I* была бы обеспечена заданная диоптрийность лучей, выходящих из окуляра; выполнение этого условия контролируется диоптрийной трубкой *I*;



A-A
4
9
30
35
40
0,1÷0,2
a
7
8
5
C
D
б
A
K
сбII
сбIV 6
сбIII
сбV
сб.I
3
Ф17,5С
2
1
8
B
T
A
D
y''
$F_{ок}$
$F'_{I,IV}$
d
K

Рис. 122

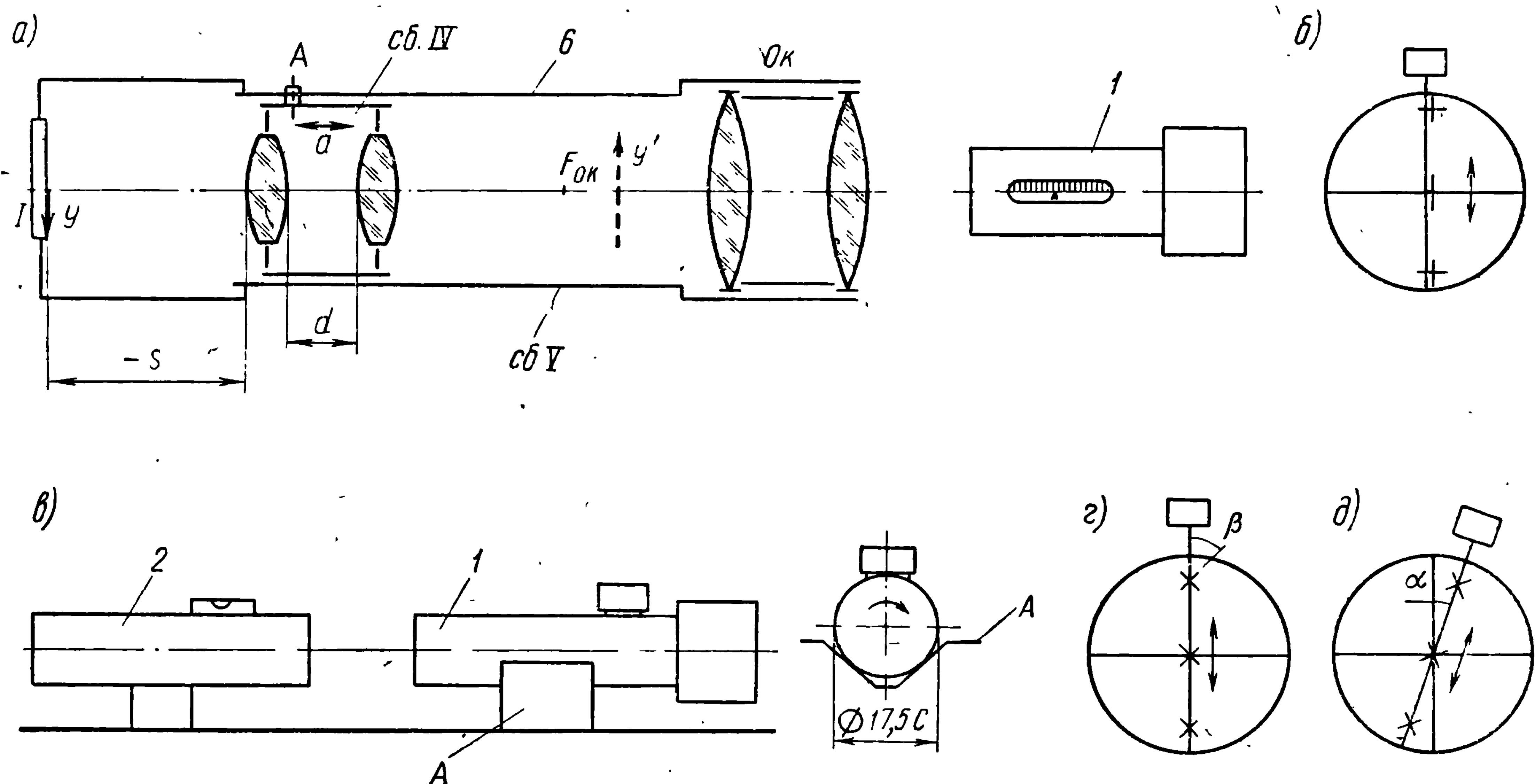


Рис. 123

после этого сборка *IV* закрепляется в трубе *6* стопорным винтом *A*.

Установка сетки *2* в задний фокус объектива (рис. 122) осуществляется перемещением сборки *I* объектива в корпусе *3* и подрезкой его торца *B* или кольцом с нужной высотой. Сопряжение сетки с передним фокусом первого компонента оборачивающей системы достигается подрезкой торца *D* корпуса *3* (или прокладкой) до тех пор, пока изображение сетки не будет резко видно в окуляр при заданной диоптрийности лучей. Это условие контролируется путем наблюдения в диоптрийную трубку.

Проверяется увеличение трубы и положение выходного зрачка, которое при необходимости корректируется перемещением второго компонента оборачивающей системы.

Прицельный механизм служит для установки визирной (прицельной) оси (см. § 10) под определенным углом к геометрической оси корпуса *3*. Это достигается перемещениями перекрестия сетки *2* посредством винтов *7* и *8* с отсчетами этих углов по шкалам *9* и *5*.

Механическая сборка этого узла должна обеспечить взаимную перпендикулярность направлений перемещения каретки *1*, соответствие угловых значений отсчетных шкал и линейных перемещений каретки, перпендикулярность плоскости сетки оптической оси объектива (обеспечивается параллельностью торца *B* корпуса *3* и торца *T* оправы сетки).

Необходимо обеспечить также, чтобы при установке отсчетных шкал на нуль центр перекрестия сетки совпадал с геометрической осью диаметра 17,5С, и вертикальность одного из штрихов (например, *CD*) сетки при ее перемещении (рис. 122). Первое из этих условий проверяется на установке, схематично представленной на рис. 123, *в*. Установив трубу *1* в посадочное место *A* приспособления перед отгоризонтированным коллиматором *2*, вращают ее, наблюдая биение перекрестия трубы относительно сетки коллиматора. Устранив биение перемещениями каретки с сеткой относительно винтов *7* и *8*, устанавливают отсчетные шкалы *9* и *5* на нуль (рис. 122). Наклон β перекрестия прибора устраняется разворотом сетки в оправе относительно вертикального штриха сетки коллиматора приспособления (рис. 123, *г*). Наклон α (рис. 123, *д*) может быть устранен только отладкой узла винта *7*, а иногда только его заменой.

§ 44. Трубы с неподвижными зеркалами и призмами

Общие сведения

Трубы с неподвижными зеркалами и призмами обычно являются перископическими — с изломом оси. По принципу действия оптической системы трубы разделяются на телескопи-

ческие и микроскопы. Перископы первого вида находят применение главным образом в оборонной технике; перископы-микроскопы широко применяются в медицине для осмотра внутренних полостей человеческого тела.

Перископическая телескопическая труба

На рис. 124 представлен разрез конструкции одного из распространенных перископов, понятной в основном без объяснений. Сетка нанесена на плоской поверхности коллектива *E*. Ход лучей между компонентами оборачивающей системы параллельный (рис. 1, *г*).

Предварительно собирают объектив *A* с трубой *1* (сборка *I*), коллектив *E* в оправе (сборка *II*), первый компонент *B* оборачивающей системы в оправе (сборка *III*), второй компонент *N* оборачивающей системы в оправе (сборка *IV*); зеркало в корпусе *2* нижней головки (сборка *V*), окуляр (сборка *VI*), зеркало в корпусе *3* верхней головки (сборка *VII*). Сущность сборки этих узлов известна из § 26, 27, 37.

Сборка *VIII* заключается в установке плоской поверхности коллектива, на которой нанесена сетка, в задний фокус объектива (операция эта освещена § 29). Сборка выполняется, пока труба *1* еще не свинчена с корпусом *2*. Перемещение коллектива относительно объектива достигается при помощи специального ключа, входящего в технологические отверстия *а* оправы коллектива; после этого сборка *II* фиксируется в трубе *1* стопором *б*.

Сборка всех линзовых блоков в оправах должна гарантировать разрешающую силу не более *7″*. Сборка зеркал должна обеспечить точность угла α и наклон изображения порядка *10′*. Нуль диоптрий шкалы окуляра устанавливается с точностью $\pm 0{,}5\,D$. Перемещение окуляра при фокусировке должно обеспечить сходимость лучей $\pm 5\,D$ (см. § 28).

Окончательная сборка прибора ведется следующим образом. Сборка *VI* окуляра ввинчивается в корпус *2* нижнего зеркала; окуляр устанавливается на нулевое деление диоптрийной шкалы и стопорится.

Перемещением сборки *IV* в корпусе *2* совмещается задний фокус второго компонента оборачивающей системы с передним фокусом окуляра, после чего сборка *IV* фиксируется стопором *b*.

Теперь надо собрать сборку *I* с первым компонентом *B* оборачивающей системы (сб. *III*); так как между компонентами оборачивающей системы лучи идут параллельными пучками, то нужно, чтобы передний фокус компонента *B* совпал с задним фокусом объектива и плоскостью сетки коллектива. Это может

быть осуществлено двумя способами.

В первом случае сборка *III* устанавливается в корпусе *2* по чертежу, а сборка *I* свинчивается с корпусом *2* до тех пор, пока изображение сетки не совпадет с передним фокусом компонента *III*. При необходимости подрезается торец *С* корпуса *2* или между трубой *1* и корпусом *2* устанавливается компенсационное кольцо нужной высоты.

Во втором случае сборка *III* не закрепляется в корпусе *2*; сборка *I* свинчивается с корпусом *2*, а совмещение переднего фокуса сборки *III* с коллективом осуществляется осевым перемещением сборки *III* посредством иглы, вводимой в отверстие стенки корпуса *2* под стопор *г*. После окончания юстировки положение трубы *1* относительно корпуса *2* фиксируется стопором *д*, а сборка *III* в корпусе *2* — стопором *г*.

Н а к л о н   и з о б р а ж е н и я устраняется разворотом сборки *VII* относительно оси трубы *1* и подрезкой юстировочного кольца *4* с соответствующей стороны. После этого положение сборки *VII* относительно трубы *1* фиксируется стопором *е*.

Для установки сетки без разворота (см. § 8) поступают следующим образом. Вывинтив стопоры *б*, фиксирующие положение сборки *II* в трубе *1*, разворачивают ее для обеспечения допуска на разворот сетки, добиваясь, чтобы при этом не возник параллакс (см. § 9); после этого фиксируют сборку *II* в трубе *1* стопорными винтами *б* и окончательно фиксируют сборку *VIII* с корпусом *2*. Герметизируют прибор, нанося

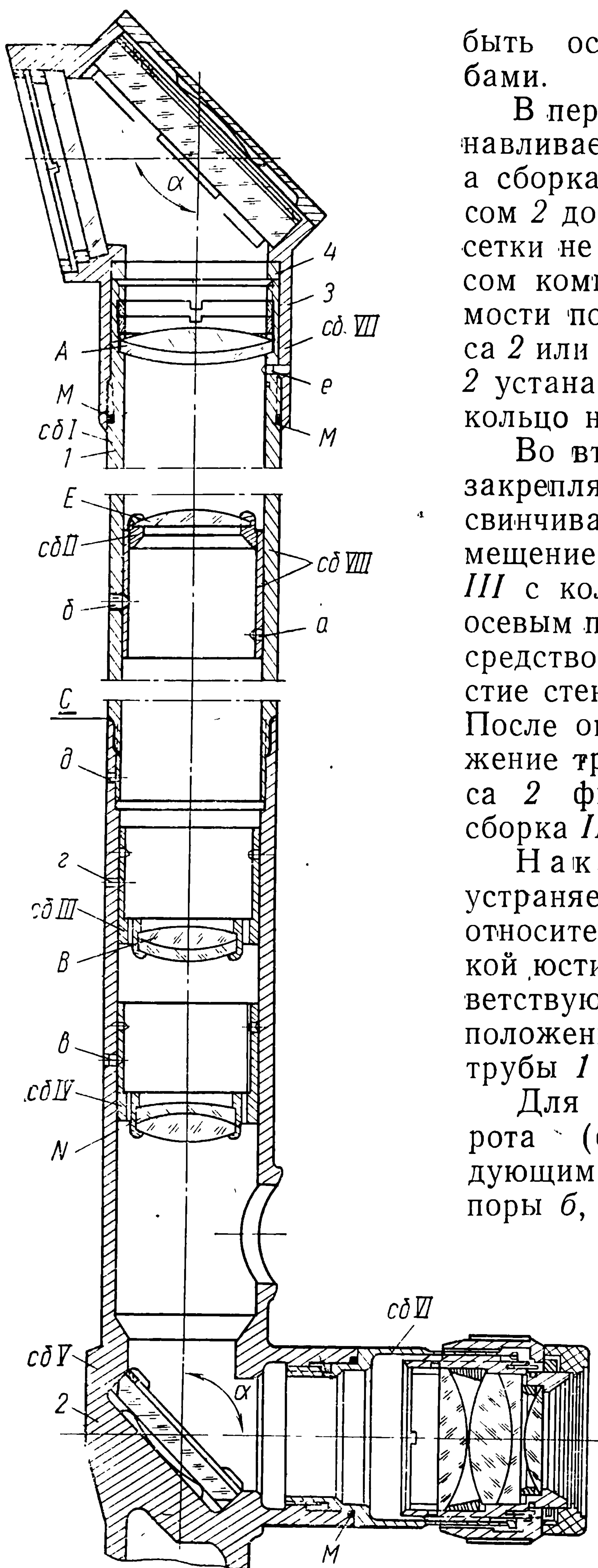


Рис. 124

слои замазки M на стыках верхней головки и трубы 1, а также корпуса 2 и окуляра. Далее выполняют обычный контроль прибора в соответствии с техническими условиями.

Гастроскоп для осмотра желудка

Характерными данными таких приборов являются малый наружный диаметр трубы (порядка $10 \div 11$ *мм*), значительная длина (≈ 800 *мм*), а иногда и гибкость рабочей части. При увеличении $\Gamma = 1^{\times}$ линейное поле порядка 20 *мм*. Большое число

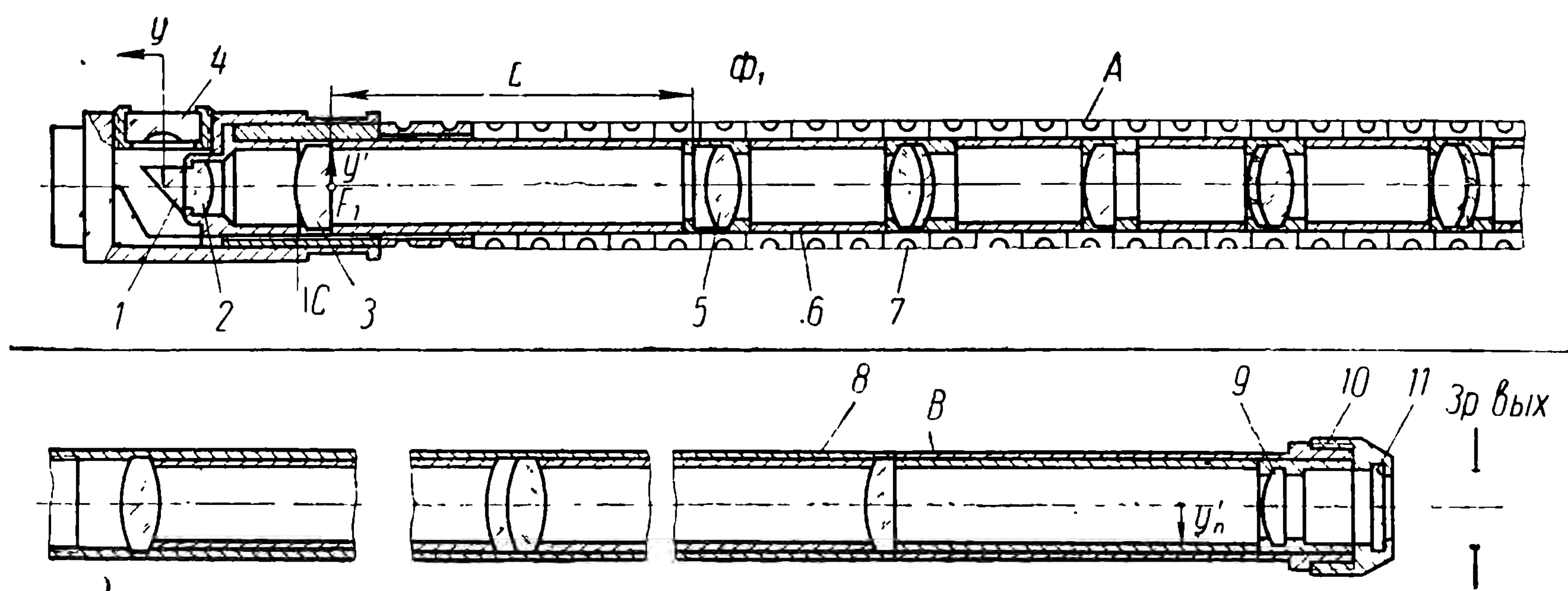


Рис. 125

оборачивающих систем и гибкость трубы затрудняют центрировку системы, которая должна обеспечивать хорошее качество изображения и разрешающую силу в условиях невысокой освещенности. Прибор должен быть герметичен.

На рис. 125 даны разрезы одного из простейших гастроскопов. Часть A трубы — гибкая; часть B — жесткая. Объектив состоит из двух линз 2 и 4, к одной из которых приклеена призма 1, поворачивающая оптическую ось прибора для наблюдения объекта y. Гибкость трубы обеспечивается винтообразной металлической эластичной обоймой 7, в которую заключены компоненты оборачивающих систем, закрепленные в оправах завальцовкой. Оборачивающие системы 5 имеют параллельный ход лучей; нужное расстояние между компонентами обеспечивается трубками 6.

В жесткой части трубы компоненты оборачивающих систем насыпаются непосредственно в трубу 8 без оправ. Оптическая система гастроскопа имеет, помимо объектива и призмы, коллективы 3, окуляр 9 и защитное стекло 11, закрепленное завальцовкой в оправе 10.

Сборка оптической части гастроскопа ведется с двух концов прибора. С переднего конца трубы собирается вторая линза объектива с призмой и передняя линза объектива в оправе.

С правой стороны второй линзы объектива подрезкой торца C оправы линзы *2* объектива устанавливается коллектив *3* так, чтобы его плоская поверхность совпала с изображением y' объекта y. Подбором длины L трубки *6* совмещают передний фокус F_1 компонента Φ_1 с плоской поверхностью коллектива. Далее собирают последовательно другие оборачивающие системы, добиваясь между их компонентами параллельного хода лучей, устанавливают окуляр в оправе в нулевое положение относительно окончательного изображения объекта и фиксируют окуляр оправой *10*, несущей защитное стекло *11*. При необходимости подрезают или заменяют трубки *6*. Нужное значение видимого увеличения прибора получают обычно подбором оптической силы последнего оборачивающего компонента и окуляра.

При изгибах трубы наблюдается срез зрачка (см. § 6). Ввиду больших светопотерь в системе срез должен быть в пределах установленного допуска. Особенно важна тщательность центрировки склеенных компонентов. Очевидно, что наклон изображения в данном приборе значения не имеет.

Вся сборка ведется методом индивидуальной пригонки и требует большой тщательности, учитывая небольшие размеры оптических деталей ($\approx 5 \div 6$ *мм*). Сверху труб *7* и *8* натягивается резиновый кожух (на рисунке не показан).

Для увеличения поля обзора гастроскоп должен поворачиваться в пищеводе, что неудобно. В настоящее время Ю. А. Цепелевым сконструирован гастроскоп с панорамическим обзором. Этот прибор будет рассмотрен в § 45.

Трубка оптиметра

Оптиметры являются контрольно-измерительными приборами, предназначенными для измерения длин, главным образом сравнительным способом. Конструктивно оптиметры бывают вертикальными и горизонтальными, принцип действия их одинаков и основан на отклонении луча зеркалом при помощи измерительного стержня.

Для примера рассмотрим юстировку одного из типовых вертикальных оптиметров. Конструкция прибора (рис. 126, *а*) состоит из следующих основных частей: автоколлимационной трубки *I*, имеющей в передней части измерительный узел, и узла столика (рис. 126, *б*), на котором устанавливается измеряемая деталь T.

Конструкция автоколлимационной трубки имеет излом визирной оси, созданный для удобства работы с прибором. Излом достигается призмой *12*, закрепляемой на плато A при помощи винтов *13*.

Основными деталями измерительного узла являются зеркало *1*, прижимаемое постоянно к измерительному стержню *2* при помощи пружин *9* (рис. 126, *в*). Стержень *2* при измерении вер-

тикально перемещается во втулке *14* и поворачивает зеркало относительно оси опоры *7*, смещенной от оси стержня *2* на величину *e* (рис. 126, *в* и *г*). Поворот зеркала вызывает в поле зрения прибора (рис. 126, *д*) отклонение изображения *A'* шка-

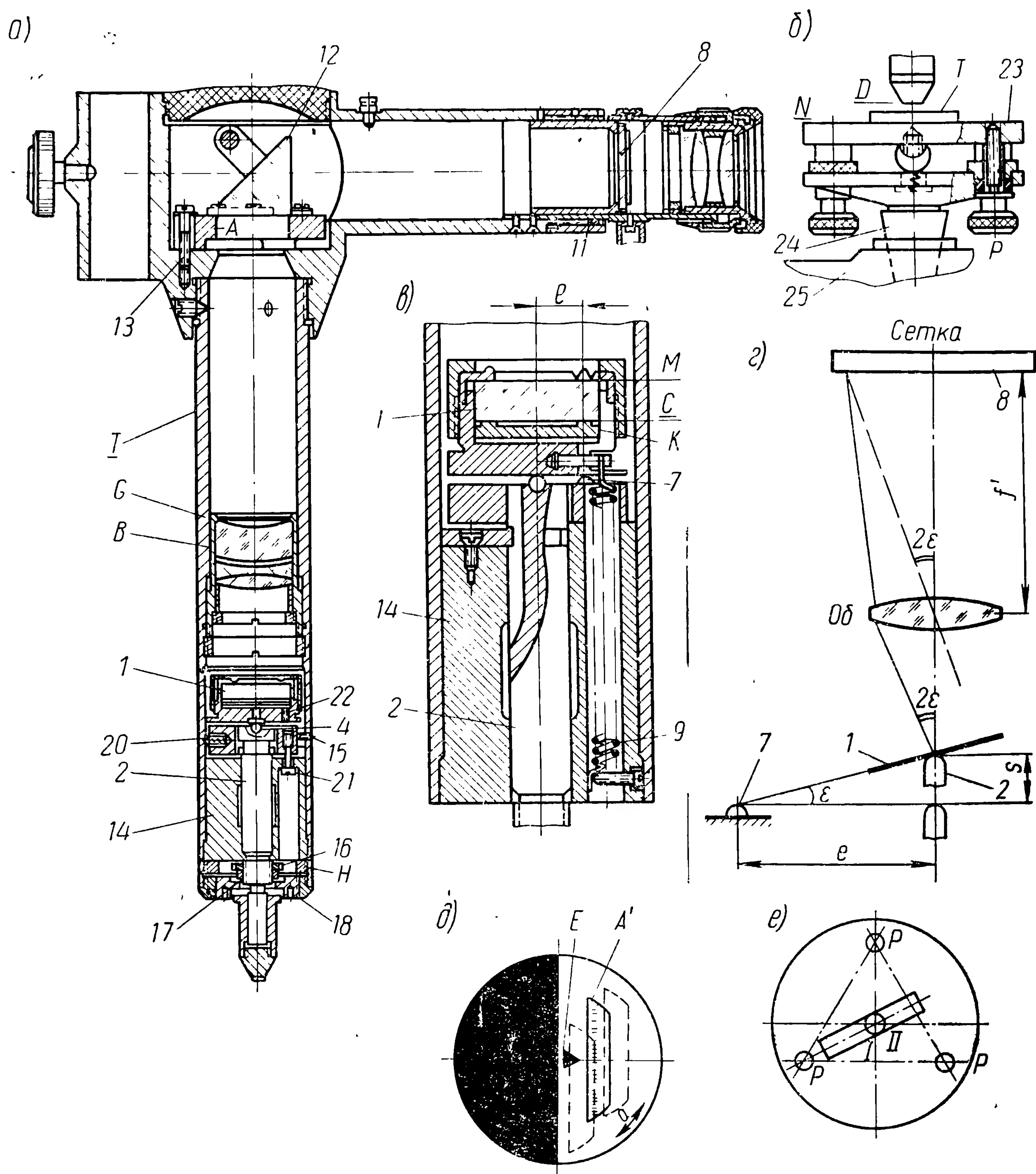


Рис. 126

лы *A*, выполненной на сетке *8* автоколлимационной трубки и освещаемой лампочкой (на рис. 126, *а* лампочка не показана). Величина смещения шкалы относительно неподвижного индекса *E* определяет измеряемое отклонение контролируемого размера от номинала.

О сборке и юстировке собственно автоколлимационной трубки уже говорилось в § 41. Устранение параллакса сетки относительно изображения A' шкалы достигается перемещениями узла B объектива на резьбе в оправе трубки G.

Для достижения заданной точности измерений и их стабильности юстировки оптиметра должны обеспечивать:

1) правильное положение изображения шкалы относительно указателя E (рис. 126, *д*) при измерении и заданную величину перемещения шкалы; 2) нужную длину плеча e зеркала (рис. 126, *г*); 3) постоянство усилия пружин *9* (рис. 126, *в*).

Юстировка положения изображения шкалы. При измерении детали штрихи изображения A' шкалы (рис. 126, *д*) должны быть параллельны индексу E, причем индекс должен перекрывать короткие штрихи на определенную величину.

Правильность указанных условий проверяется путем наблюдения в окуляр при медленном повороте зеркала. При его неправильном положении изображение шкалы в процессе поворота зеркала будет смещаться в косом направлении (например, по стрелке *а*). Это будет увод визирной оси (см. § 11).

Юстировка увода может быть осуществлена поворотами втулки *14*, сдвигающей при этом опору *7* зеркала и опоры призмы *12* относительно вертикальной оси трубы. Втулку *14* поворачивают при освобожденном винте *15* и вывернутом кольце H, закрепляющем втулку *14* в трубке G (рис. 126, *а*). Поворот призмы производится относительно винтов *13*. Предел перемещения изображения шкалы от среднего положения (вверх и вниз) определяется положениями колец *16* и *17*, навернутых на измерительный стержень *2*, и кольца *18*, связанного со втулкой H. Указанные кольца ограничивают ход штифта, а следовательно, и угол поворота зеркала.

Юстировка плеча e зеркала. Размер плеча влияет на точность показаний прибора, что легко видеть из следующих простых соотношений, вытекающих из рис. 126, *г*:

$$\Delta = f'_{об} \operatorname{tg} 2\varepsilon = 2f'_{об} \operatorname{tg} \varepsilon^*; \tag{136}$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{s}{e}; \tag{137}$$

$$\Delta = 2f'_{об} \frac{s}{e}, \tag{138}$$

где Δ — отсчет по шкале;

$f'_{об}$ — фокусное расстояние объектива;

ε — угол поворота зеркала;

s — перемещение измерительного штифта при измерении.

---

* При малых углах ε.

Регулировка длины плеча *e* достигается перемещением опоры *7* зеркала при помощи юстировочного винта *15*; перед этим необходимо отвернуть втулку *H* и ослабить винты *21* (рис. 126, *а*).

Неравномерность погрешностей показаний шкалы по ее длине вызывается непостоянством усилия пружин *9* и непараллельностью отражающей поверхности *M* зеркала торцу *C* подпятника *K* (рис. 126, *в*). Эта непараллельность устраняется тремя винтами *22* (рис. 126, *а*).

Натяжение пружин должно быть одинаковым, так как иначе происходит быстрый износ подпятника зеркала, что приводит к погрешностям показаний прибора. На точность и стабильность показаний прибора оказывает влияние и величина радиального зазора между измерительным стержнем *2* и втулкой *14*.

При контроле размеров детали *T* она устанавливается на столик *23* (рис. 126, *б*). Необходимо, чтобы плоскость *N* стола была хорошего качества и параллельна плоскости *D* торца измерительного стержня.

Качество поверхности стола проверяется пробным стеклом интерференционным методом. Отступление поверхности стола от плоскости допускается только в сторону выпуклости на 1 *мкм*.

Параллельность плоскости *N* стола плоскости торца *D* измерительного стержня (обычно в пределах $\approx 0{,}3$ *мкм*) достигается тремя юстировочными винтами *P* (рис. 126, *б*) при помощи концевой плитки (4-го или 5-го разряда с толщиной $5 \div 10$ *мм*). Плитку последовательно устанавливают в положения *I* и *II* (рис. 126, *е*), производя отсчеты. Разность отсчетов определяет величину перекоса стола, устраняемую одним из трех винтов *P*.

Более точная проверка и юстировка стола производится при помощи точной стеклянной плоскопараллельной пластинки. Пластинку притирают нижней поверхностью к поверхности стола до получения желто-соломенного «цвета». Поднимают стол до соприкосновения торца измерительного штифта с верхней поверхностью пластинки. Если плоскости стола и штифта недостаточно параллельны, то на отраженной от поверхности стола плоскости штифта будут видны интерференционные полосы. Юстировочными винтами *P* наклоняют стол до исчезновения полос. Чтобы параллельность поверхности стола торцу измерительного штифта не нарушалась, недопустим радиальный зазор между конусом *24* стола и втулкой *25* (рис. 126, *б*).

§ 45. Трубы с качающимися и вращающимися призмами

Трубы с качающимися и вращающимися призмами, как и трубы с неподвижными зеркалами и призмами (см. § 44), бывают телескопическими и типа микроскопа. Приме-

нение их аналогично приборам с неподвижными зеркалами, однако вращающиеся и качающиеся зеркала позволяют значительно увеличить поле обзора.

Наиболее характерным телескопическим прибором с качающейся и вращающейся призмами является известная панорама. В приборах, действующих по принципу микроскопа, представляет конструктивный интерес гастроскоп с панорамическим обзором.

Панорама

Прибор (см. рис. 101, *а*) относится к сложным монокулярам, содержащим ряд интересных для технологии сборки механических и оптических узлов. Поэтому сборка этого прибора рассматривается достаточно подробно как в механической, так и оптической частях.

Панорама позволяет визировать на 360° по горизонту (углы φ) и в вертикальной плоскости на углы i (см. § 11, рис. 30).

Визирование в горизонтальной плоскости осуществляется путем вращения верхней головной призмы (см. рис. 101, *а*) относительно вертикальной оси прибора. Поворот призмы производится вместе с верхней головкой (сб. *I*), вращаемой от рукоятки *14* посредством червяка *15* и червячной шестерни *37*, верхний конец которой связан с верхней головкой (сб. *I*) при помощи резьбы на деталях *1* и *37*. Отсчет углов φ производится по шкале *11* (см. рис. 101, *б*).

Для того чтобы изображение объекта при фиксированном положении окуляра было прямым при любом угле визирования по горизонту, в приборе имеется призма Дове, вращающаяся с угловой скоростью, в два раза меньшей скорости головной призмы. Движение призмы Дове осуществляется при помощи дифференциальных конических шестерен *38, 36* и *22*, из которых шестерня *38* жестко связана с червячной шестерней *37*, шестерня *36* свободно вращается на оси, составляющей одно целое с корпусом *32* призмы Дове, а шестерня *22* жестко закреплена в корпусе *34* панорамы.

Визирование в вертикальной плоскости осуществляется поворотом верхней призмы посредством червячного механизма (подробно см. § 37).

Конструкцию прибора составляют следующие основные узлы: верхняя головка (сб. *I*), угломер, узел призмы Дове (см. § 37, рис. 97) и нижняя часть корпуса *34* панорамы.

Сборка верхней головки описана в § 37. В сборку угломера входят корпус угломера *35*, шестерня *37* дифференциала, связанная с шестерней *36* узла призмы Дове и червяком *15* управления вращением этой призмы и верхней головки. Сведения о сборке узла призмы Дове освещены в § 37.

Нижняя часть панорамы включает ряд узлов и деталей, из которых важнейшими являются корпус панорамы *34*, узел объектива *B*, крышеобразная призма и окуляр с сеткой.

В процессе предварительной сборки собираются все металлические детали и механизмы прибора, которые обеспечивают вращение верхней головки и призмы Дове; выполняются также пригонка корпуса *34* панорамы к корпусу *28* окуляра и сборка верхней головки с призмой.

При окончательной сборке панорамы собираются следующие узлы: призма Дове, объектив, крышеобразная призма, окуляр с сеткой и верхняя головка, т. е. весь прибор в целом, и производятся все юстировки прибора, обеспечивающие его свойства.

Предварительная сборка панорамы

Основной задачей этой сборки является обеспечение нормальной работы червячного механизма и дифференциала без заеданий, рывков и мертвого хода, также плавного хода вращающихся деталей (например, корпуса шестерни *38* в корпусе *35* угломера), а также точности передаточного числа механизмов. Как было указано в § 24, это достигается взаимной притиркой деталей по цилиндрическим поверхностям и торцам, их подрезкой, прикаткой зубьев и их шлифовкой, комплектовкой деталей. Так, например, комплектуется червяк *15* с корпусом *35* угломера, корпус *32* призмы Дове с корпусом *34* панорамы. Для регулирования зазоров между шестернями применяются прокладочные юстировочные кольца *23, 21* и *40.*

Подготовляется соединение корпуса *34* прибора с корпусом *28* окуляра. Корпусы *34* и *28* комплектуются так, чтобы окно *26* в корпусе *28* (сечение по *NN*) для освещения сетки расположилось вертикально относительно рабочего положения корпуса *34*. При необходимости для достижения этого можно подрезать торец *K* детали *28*.

Комплектуется корпус *1* верхней головки с корпусом шестерни *37* при установке шкалы *11* горизонтальных углов визирования (рис. 101, *б*) и сальника *41*; вращение головки должно быть плавным.

Окончательная сборка панорамы

Сборка окуляра с сеткой должна обеспечить расходимость лучей за окуляром в пределах $0{,}1 \div 0{,}5\,D$. Технология такой сборки описана в § 13 и 43.

Установка нижней призмы. Притирают торцы *L* и *T* деталей *31* и *28* на плите. Подбирают по резьбе дд. *34*, *31* и *28*. Разъединяют опорный подпятник *30* призмы на две половины

и зачищают место разъема. Вывертывают из корпуса крюк *29*. Собирают детали *31, 28* и *34*; вставляют в деталь *34* призму, подпятник *30* и крюк *29*. Устанавливают призму на подпятнике *30* так, чтобы ее отражающая грань проходила через точку O_1 пересечения осей деталей *31* и *28*, добиваясь этого регулированием положения данных деталей и применяя, если надо, подкладку *25* под деталь *31*. При сборке призмы деталь *28* должна быть установлена без разворота сетки (см. § 8).

Сборка узла объектива с устранением параллакса сетки. Узел *В* объектива в оправе собирают (см. § 27) с деталью *31*; осевым перемещением объектива добиваются совмещения его заднего фокуса $F'_{об}$ с плоскостью перекрестия сетки без параллакса (допуск на параллакс $\approx 2'$); для достижения этого допускается применение прокладки *33*. Одновременно разворачивают нижнюю призму, чтобы обеспечить в допуске наклон изображения (см. § 7).

Собирают и юстируют призму Дове (см. § 37) и собирают этот узел с корпусом *34* и шестернями *22* и *37*. Собирают окончательно (предварительная сборка верхней головки освещена в § 37) верхнюю головку с корпусом *35* панорамы.

Обеспечиваются нулевое положение призмы и повороты ее на заданные углы визирования. Панорама устанавливается на гониометр (см. рис. 40).

Поворотами барабана *2* и перемещением сектора *7* и червяка *8* добиваются, чтобы изображение перекрестия сетки коллиматора совпало с перекрестием зрительной трубы. При этом нуль шкалы *12* путем ее вращения устанавливается по индексу *N* на нулевое деление шкалы (рис. 101, *в*).

Проверяется и устраняется увод визирной оси при углах визирования $\pm 18°$. При уводе оси более чем на 0,01 окружности головка разбирается, и выступы планки *42* подпиливаются так, чтобы горизонтальная ось вращения отражателя стала перпендикулярной линии визирования и вертикальной оси панорамы. Если при вращении барабана *2* призмы против направления часовой стрелки наблюдается увод оси вправо, то подпиливаются правые выступы детали *42*; при уводе оси влево подпиливаются левые выступы.

Проверяют наклон изображения, вносимый призмой Дове при углах по горизонту 15, 30 и 45°. Наклон изображения возникает в результате: 1) большого зазора в зацеплении конических шестерен *38, 36* и *22*; 2) неправильной установки крышеобразной призмы; 3) неправильной установки призмы Дове. При первом дефекте сборки наклон устраняется подбором шайб *39* и *23* с обеспечением плавного хода механизмов. Вторая причина наклона изображения бывает, когда, помимо наклона, имеется и увод линии визирования от вертикальной оси. Поскольку верхняя призма уже установлена, дефект сборки

устраняется регулировкой крышеобразной призмы при помощи винтов *27*. Устранение третьей причины наклона изображения достигается за счет перестановки сцепления шестерен *36* и *38* на новые зубья. Если этим нельзя достигнуть цели, то можно разворачивать шестерни *38* и *37*. Подшлифовывают также верхний торец направляющего цилиндра *32* так, чтобы обойма с призмой перемещалась на угол, в два раза меньший наклона изображения. Допуск на наклон изображения не должен быть более 1°. Разница между наклоном изображения и разворотом сетки не должна превышать 45′.

Предварительная установка шкал панорамы на нуль

Устанавливают панораму на гониометр (см. рис. 40). Вращением червяка *15* угломера (рукоятка *14*, рис. 101, *а*) подводят крест панорамы на вертикальный штрих сетки зрительной трубы, а вращением червяка верхней головки (рукоятка *5*) совмещают крест панорамы с горизонтальной нитью трубы. Устанавливают шкалу *12* вертикальных углов нулевым делением против индекса *N* (см. рис. 101, *в*). Устанавливают шкалу *11* горизонтальных углов делением *30* против индекса *M* (см. рис. 101, *б*).

Юстировка панорамы на точность отсчетов угломера, мертвый ход угломера, увод оси визирования от горизонта

Все эти юстировки производятся на гониометре (см. рис. 40). Точность отсчета угломера проверяют при нулевом положении шкалы *11*. Ошибка угломера, включая и ошибку червяка, не должна превышать 0,01. Для устранения ошибки отсчета необходимо найти ее наибольшую величину и определить ее знак. Устранение ошибки достигается пригонкой механизма червячного зацепления.

При исправлении ошибки отсчета следует следить, чтобы увод визирной оси от вертикали не вышел из допуска. Если ошибка отсчета за первый оборот головки оказалась в допуске, а за второй оборот вышла из него, то нужно проверить юстировку призмы Дове, ее пирамидальность и качку детали *32* в детали *34*. Первые два дефекта устраняют юстировкой призмы и ее заменой, качка детали *32* устраняется также ее заменой.

В заключение следует проверить наклон изображения и устранить его.

Выявление мертвого хода описано в § 16; мертвый ход не должен быть более ±0÷01 окр. При бо́льшем мертвом ходе его устраняют: а) подбором толщины кольца *23*; б) устранением перевалов во вращении деталей *34, 37, 35*; в) сменой детали *37*

при наличии зазора в соединении ее с деталью *35*, более допустимого; г) устранением торцевого люфта червяка *15* (см. § 24); д) обкаткой конического и червячного зацеплений.

Увод визирной оси от горизонта (от деления *30*) на углах до 34—00 и до 26—00 не должен превышать $\pm 0 \div 01$, а на всех остальных углах $\pm 0 \div 03$. Увод линии визирования вызывается: 1) непараллельностью осей корпуса *35* угломера и призменного корпуса *34*; 2) непараллельностью отражающей грани призмы Дове оси вращения направляющего цилиндра *32*; 3) шаткостью в сопряжении направляющего цилиндра *32* с корпусом *34*.

При первой ошибке сборки следует сначала проследить за характером увода линии визирования при вращении верхней головки вправо и влево от деления 30—00. Если при вращении головки вправо линия визирования смещается вниз, а при вращении головки влево вверх, то следует подшлифовать левую сторону корпуса угломера. При обратном характере движения визирной линии подшлифовывают правую сторону корпуса. Если при вращении головки вправо и влево линия визирования уходит вниз, подшлифовывается корпус угломера со стороны защитного стекла. При обратном характере увода корпус подшлифовывается со стороны окуляра.

При второй ошибке сборки юстируют призму Дове по схеме рис. 98. Если при вращении призмы изображение перекрестия сетки коллиматора смещается вверх или вниз, то разворачивают клиновидное кольцо *А* (рис. 97 и 101, *а*) до тех пор, пока увод визирной оси будет в допуске.

При третьей причине увода заменяют направляющий цилиндр *32*, притерев новый к корпусу *34*.

Окончательная установка шкал *11* угломера и верхней головки *12* на нуль

Устанавливают панораму в нулевое положение на гониометре (рис. 40). Вращением угломера рукояткой *14* приводят изображение перекрестия коллиматора на вертикальный штрих сетки панорамы. Вращением рукоятки *5* верхней головки приводят изображение сетки коллиматора на горизонтальный штрих сетки панорамы и проверяют установку нулевых положений отсчетных шкал на рукоятках. При наличии ошибок исправляют их разворотом шкал.

Гастроскоп с панорамным обзором

Этот прибор, сконструированный Ю. А. Цепелевым, является усовершенствованным гастроскопом, описание которого дано в § 44. Наиболее важные узлы прибора представлены на рис. 127 и 128. Гастроскоп снабжен вращающейся головкой *1* (рис. 127, *а*) и позволяет управлять изгибом трубы (рис. 127, *б*).

Улучшение центрировки системы и уменьшение среза выходного зрачка при изгибе трубы достигаются в данной конструкции блоками прямоугольных призм (рис. 128, *а*, *б*), расположенных в гибкой части прибора между компонентами оборачивающих систем в параллельном ходе лучей. Необходимый изгиб трубы осуществляется за счет поворота призм вокруг осей *AB*.

Панорамный обзор достигается поворотом головки *1* (рис. 127, *а*), в которой укреплены головная призма *2* и объектив *3*.

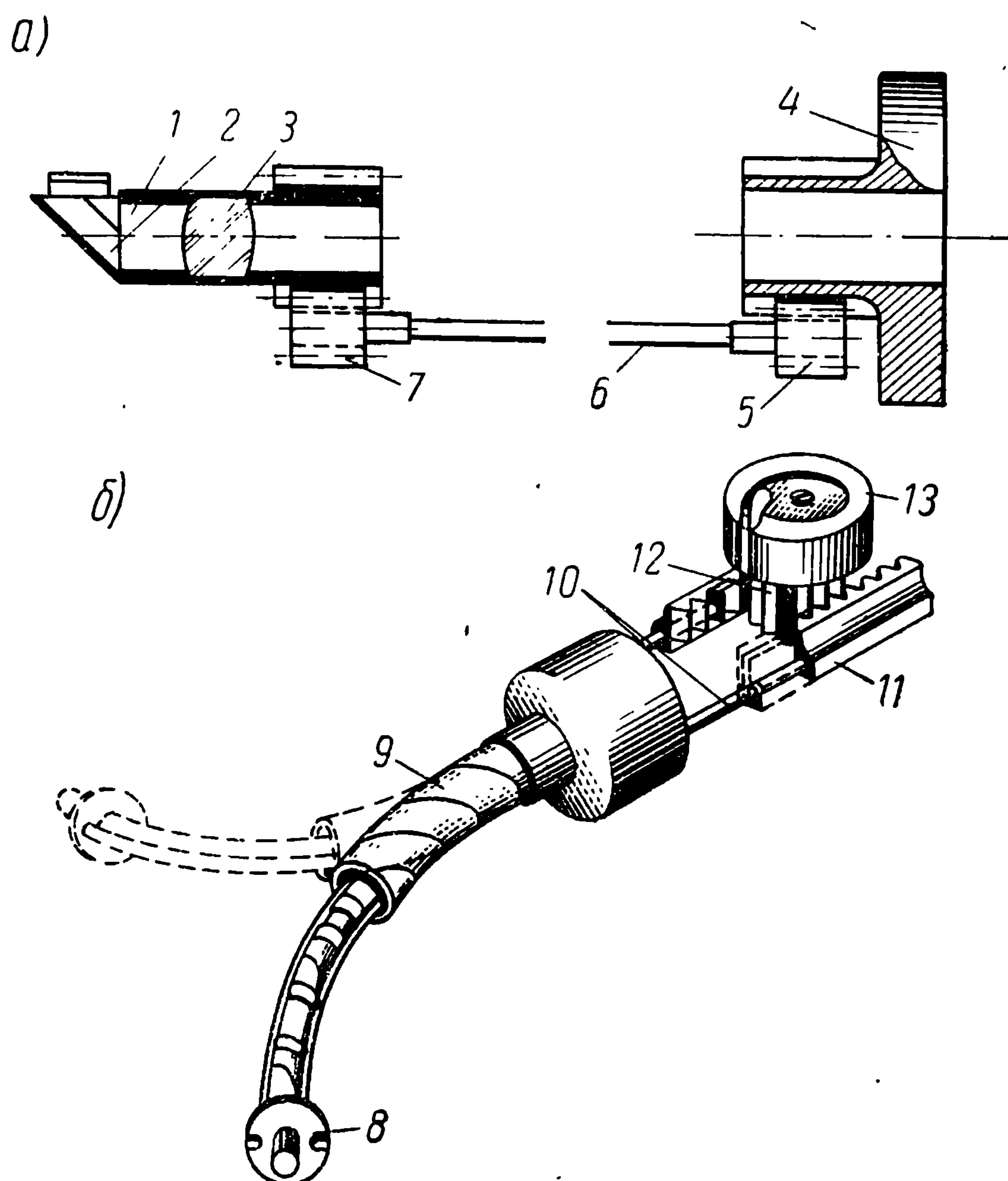


Рис. 127

Вращение обоймы осуществляется рукояткой *4* посредством шестерни *5*, гибкого валика *6* и шестерни *7*.

Изгиб трубы (рис. 127, *б*) выполняется тягами *10*, связанными с диском *8* объективной части трубы. Тяги проходят внутри спиралеобразной гибкой трубы *9* и соединены рейками *11* с шестерней *12* и маховичком *13*, вращение которого стягивает детали *10*.

Освещение полости желудка производится лампочкой *A* (рис. 128, *в*), расположенной на оси прозрачного цилиндра *T*.

Помимо вращающейся головки, в данном приборе представляют интерес конструкция и сборка узлов призм и оборачивающих систем. Поворот призм вокруг осей *AB* конструктивно осуществляется обоймами *C* и *D* (рис. 128, *б*), в которых призмы закреплены; обоймы *C* и *D* свинчены с оправами *E* линзовых

компонентов оборачивающей системы. Такая конструкция существенно облегчает сборку трубки, позволяя производить ее по узлам * с их контролем.

Сначала собирают пары обойм *C* и *D* с призмами. Далее привинчивают оправы *E* с линзами. Присоединяя новую пару призм и линз, добиваются параллельного хода между последними. Необходимо выдерживать сборочные размеры *l* и *L* (рис.

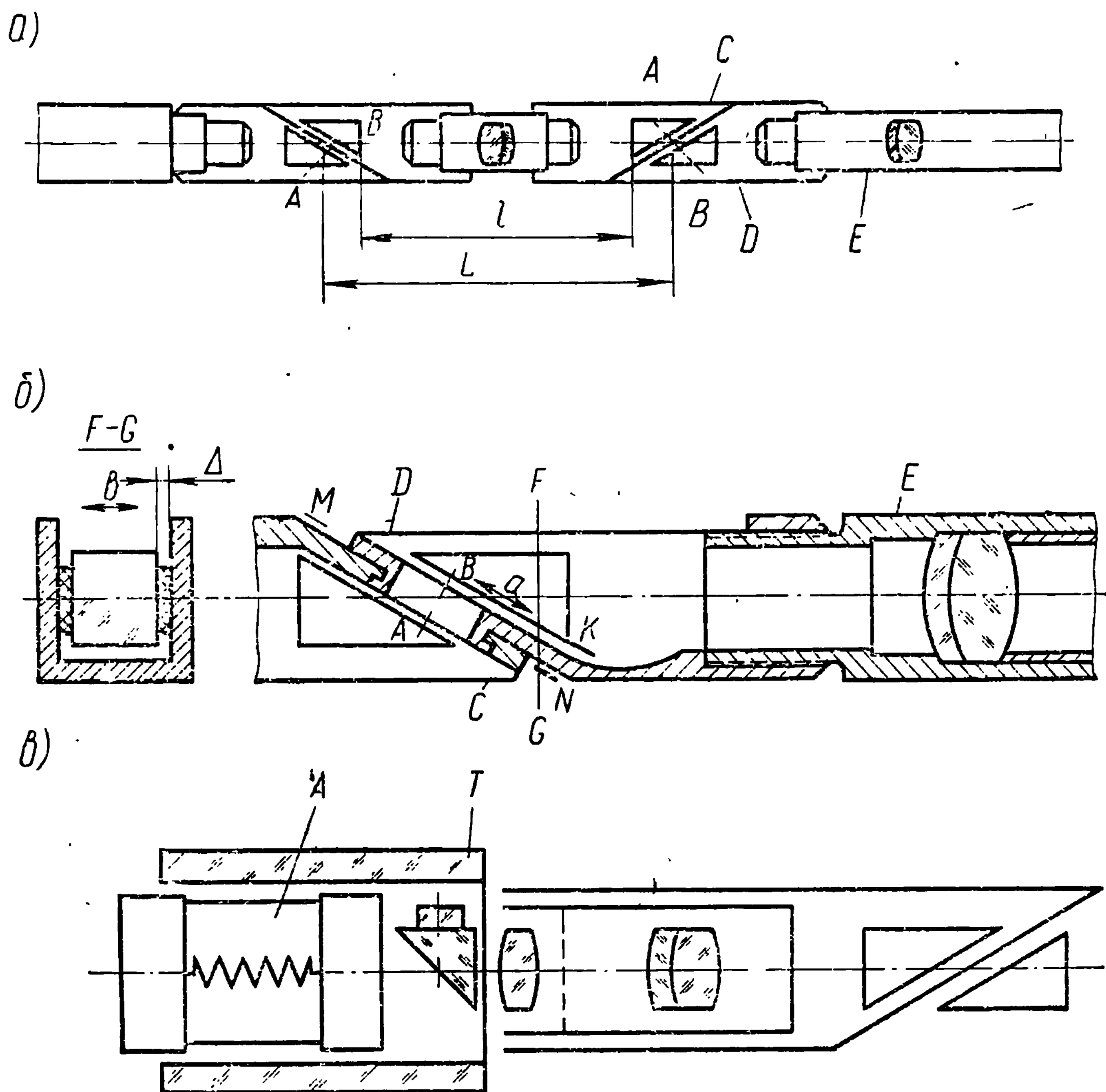


Рис. 128

128, *а*). Весьма важны точная пригонка плоскостей *N* и *M* обойм призм и параллельность их плоскостям *K*, которые задают положение гипотенузных поверхностей призм. Вращение обойм должно быть плавным, без заедания и рывков.

После сборки звена призм с линзами необходимо проверить срезание зрачка призмами, которое не должно допускаться. Срез устраняется перемещением призм по стрелке *а*. Наклон призм (по стрелке *в*) в плоскости, нормальной чертежу, исключается конструкцией обойм призм, при которой зазор Δ между призмой и стенкой оправы имеет порядок 0,1 *мм* (сечение *FG*).

* Напомним, что обычные гастроскопы — эндоскопы (см. § 44) не имеют предварительной сборки узлов.

Глава VI
СБОРКА И ЮСТИРОВКА МОНОКУЛЯРНЫХ МИКРОСКОПОВ

Конструктивно микроскопы довольно разнообразны; в данной работе рассматриваются основные юстировки наиболее распространенных микроскопов — школьного, биологического и инструментального.

§ 46. Школьный и биологический микроскопы

Школьный микроскоп конструктивно наиболее прост (рис. 129). Он имеет только одну грубую фокусировку, которая производится при помощи рукоятки *1*, трибки *2* и рейки *3*; объектив *7* и окуляр *8* сменные. Осветительная система состоит из узлов зеркала *4* и диска *5* диафрагм с разными диаметрами, прикрепляемого к столику *6*.

Основная задача сборки и юстировки таких микроскопов заключается в обеспечении хорошего качества изображения наблюдаемого объекта при нужном увеличении. Значение увеличения микроскопа достигается правильной сборкой объективов и окуляров (см. § 35) с обеспечением их рабочих отрезков L, а также точным выдерживанием механической длины l тубуса (см. рис. 67, *а*).

Качество изображения микроскопа достигается прежде всего высоким совершенством сборки его объективов и, в частности, хорошей их центрировкой.

Одной из важных операций механической сборки является обеспечение нормальной работы рейки *3* и трибки *2*; перемещение узла тубуса микроскопа должно быть плавным, но тугим; недопустимо, чтобы тубус с рейкой самопроизвольно опускался под влиянием собственного веса. Ограничитель *9* хода узла тубуса предохраняет объектив от удара по предметному стеклу *10*.

Наиболее важными юстировками микроскопа являются: 1) центрирование оптической оси микроскопа относительно осей диафрагм *5*; 2) обеспечение перпендикулярности оптической оси микроскопа плоскости N предметного столика на всем диапазоне фокусировки микроскопа.

Положение ограничителя хода *9* определяется при помощи эталонной втулки C заданной высоты H (рис. 129, *б*).

Сняв предметное стекло *10* и вывернув объектив, устанавливают на столик *6* втулку *С* и опускают тубус *11* микроскопа до упора его торца *М* в торец *К* втулки. В этом положении тубуса в рейке *3* (рис. 129, *а*) засверливается отверстие под ограничитель *9*.

Перпендикулярность оси микроскопа плоскости *N* столика проверяется при помощи стеклянного эталона,

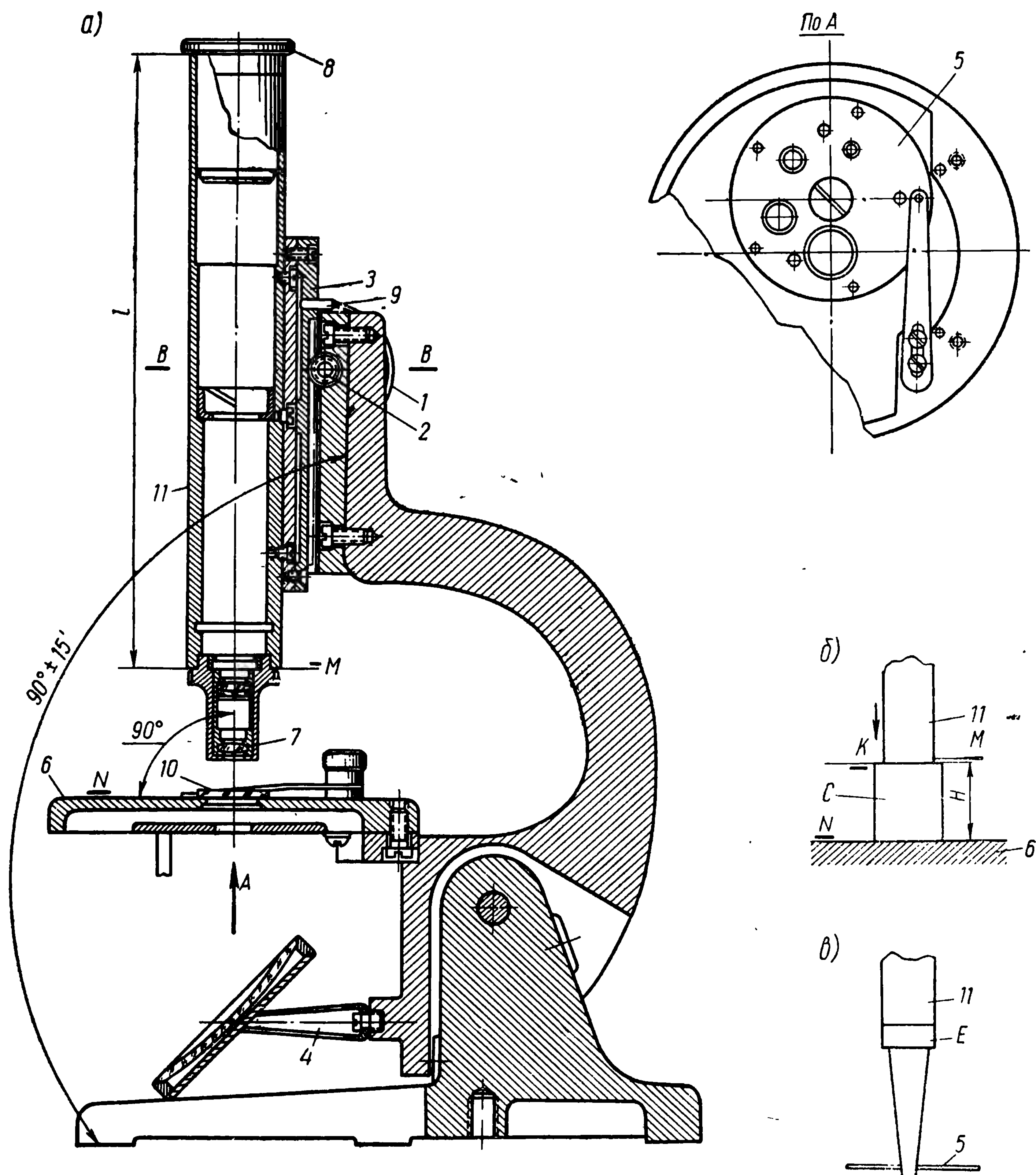


Рис. 129

устанавливаемого вместо втулки *С* на столик *6* (рис. 129, *б*). При правильной сборке микроскопа торец *М* его тубуса соприкасается во всех точках с торцом *К* эталона. Если наблюдает-

ся некоторый перекос этих торцов, то он устраняется осторожным изгибом столика.

Центрировка осей диафрагм диска *5* относительно оси тубуса осуществляется при помощи специальной насадки *E*, ввинчиваемой в тубус *11* вместо объектива (рис. 129, *в*). Ре-

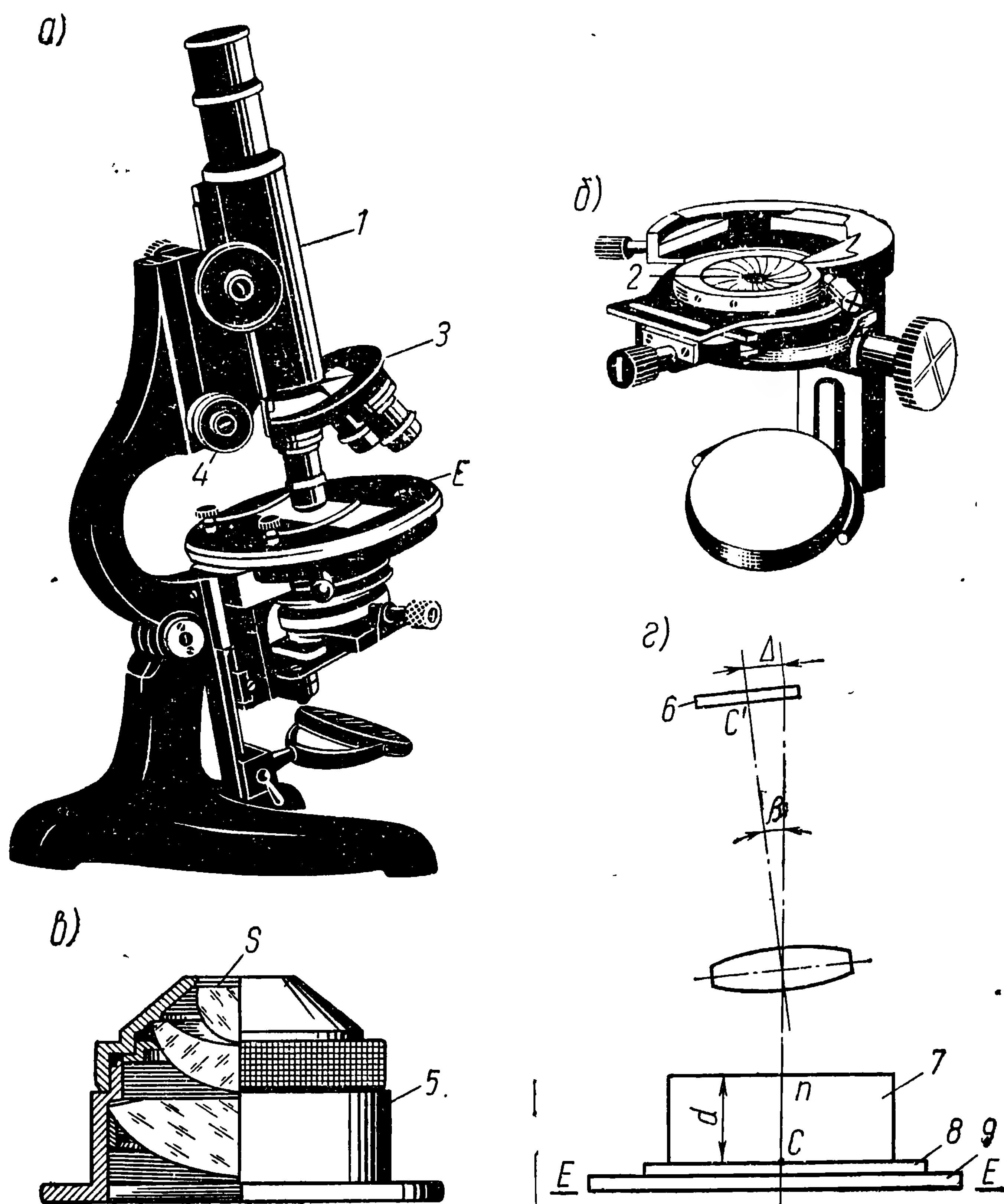


Рис. 130

гулируют диск *5* таким образом, чтобы конический участок насадки *E* был введен в диафрагму с наименьшим диаметром.

Биологические микроскопы (рис. 130, *а*) конструктивно значительно сложнее школьных. В тубус *1* ввинчивается револьверная насадка *3* с объективами различных увеличений. Осветительная система, помимо зеркала, имеет обычно многолинзовый конденсор с диафрагмой *2* переменного диаметра (рис. 130, *б*). Помимо грубой фокусировки, имеется механизм *4* тонкой наводки.

В результате механической сборки перемещение тубуса при грубой и тонкой фокусировке и перемещение конденсора должны быть параллельны друг другу с точностью порядка 30′, а револьвер *3* должен обеспечить правильное положение всех его объективов в тубусе при смене увеличения.

Большое влияние на качество изображения наблюдаемых объектов оказывает сборка осветительной системы микроскопа, состоящей обычно из узла конденсора и зеркала. Основными частями конденсорного узла являются его оптическая система *5* (рис. 130, *в*) и ирисовая диафрагма *2* (рис. 130, *б*). В зависимости от назначения микроскопа оптическая часть конденсора имеет большее или меньшее количество линз и похожа на объективы микроскопа.

Сборка конденсора весьма похожа на сборку объектива микроскопа и в ряде случаев осуществляется с такой же точностью. Важна центрировка оптической системы конденсора относительно оси диафрагмы *2* и оси всей осветительной системы относительно оси тубуса микроскопа. Это условие обеспечивается точной пригонкой механических деталей, которыми конденсорная система крепится к ножке микроскопа. Необходимо также, чтобы плоскость *E* предметного столика (рис. 130, *а*) была нормальна оси микроскопа (см. выше).

Для центрировки оси тубуса осям объективов револьвера опорные торцы гнезд револьвера должны быть перпендикулярны оси тубуса с точностью порядка 10′. Для центрировки оси тубуса и оси конденсора необходимо, чтобы перемещение тубуса при грубой фокусировке было перпендикулярно плоскости столика в пределах 20′, а ось конденсора совпадала с осью тубуса с точностью $\approx 0{,}15$ *мм*.

Нужно также, чтобы плоская поверхность *S* линзы конденсора (рис. 130, *в*) была перпендикулярна оси тубуса с точностью порядка 30′.

Контроль указанных требований выполняется автоколлимационным методом. На столик помещается плоское зеркало. В тубус устанавливается автоколлимационный окуляр (см. § 9), а в револьвер ввинчивается объектив с таким фокусным расстоянием, чтобы окуляр и объектив образовали автоколлимационную трубу. Необходимо, конечно, чтобы опорный торец оправы объектива был параллелен соответствующему торцу тубуса.

Если плоскость столика не перпендикулярна оси тубуса, то в поле зрения автоколлимационный блик будет смещен; по величине этого смещения и его направлению можно определить величину нужного отклонения плоскости столика; это достигается либо разворотом столика на винтах, либо подпиловкой его кронштейна.

Помещая зеркало на плоскую поверхность *S* линзы конденсора, проверяют ее положение аналогичным образом.

Для контроля перпендикулярности оси тубуса плоскости E столика при грубой и тонкой фокусировке в тубус ввинчивается один из обычных объективов микроскопа и устанавливается окуляр с перекрестием. На предметное стекло 9 (рис. 130, *г*) столика помещают стеклянную пластинку 8, на поверхности которой имеется перекрестие C. Фокусируют микроскоп на это перекрестие механизмом грубой наводки. Ставят на пластинку 8 пластинку 7 значительной толщины d и фокусируют микроскоп при помощи механизма тонкой наводки на изображение C' перекрестия C на сетке 6. Если ось микроскопа наклонена к плоскости E столика, то изображение сместится в плоскости сетки на величину Δ.

Этим же способом можно проверить и наклон оси тубуса в школьном микроскопе. Из рис. 130, *г* видно, что угол β наклона оси тубуса к плоскости E столика определится по формуле

$$\beta = \frac{n\Delta}{d(n-1)}, \qquad (139)$$

где $\Delta = l\beta$;

l — величина линейного перемещения тубуса при фокусировке, равная смещению луча пластинкой;

Δ может быть определено при помощи окулярного микрометра;

n — показатель преломления пластинки 7.

Для контроля соосности оправы конденсора и тубуса устанавливают в оправу диафрагму с отверстием, равным 0,5 *мм*, и фокусируют микроскоп на отверстие диафрагмы. При совпадении осей изображение отверстия будет симметричным относительно перекрестия сетки окуляра. В ином случае добиваются этого условия при помощи центрировочных винтов оправы.

§ 47. Инструментальный микроскоп

Общий вид и оптическая схема одного из микроскопов отечественного производства показаны на рис. 131, *а, б, в*. Основными узлами прибора являются собственно микроскоп *I*, колонка *II*, стол *III*, осветительная система *IV*. Прибор конструктивно сложен и требует выполнения многих юстировок.

Микроскоп (рис. 131, *б*) состоит из объектива 6, призменной оборачивающей системы 4, защитного стекла 3, сменной окулярной головки — штриховой (рис. 132) и револьверной (рис. 133). Тубус 5 микроскопа (рис. 131, *б*) закреплен на кронштейне 2, который перемещается «от руки» по направляющим 13 колонки *II* при грубой фокусировке (рис. 131, *а*) и при помощи рукоятки 9 для точной наводки (рис. 131, *в*). Фиксирование кронштейна при грубом перемещении достигается винтом 8.

Контролируемый объект устанавливается на предметное стекло *8* (рис. 132, *а*) стола *III*, который может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях при помощи продольных и поперечных салазок *11* и *12* (рис. 131, *а*). Перемещение стола производится посредством микрометрических

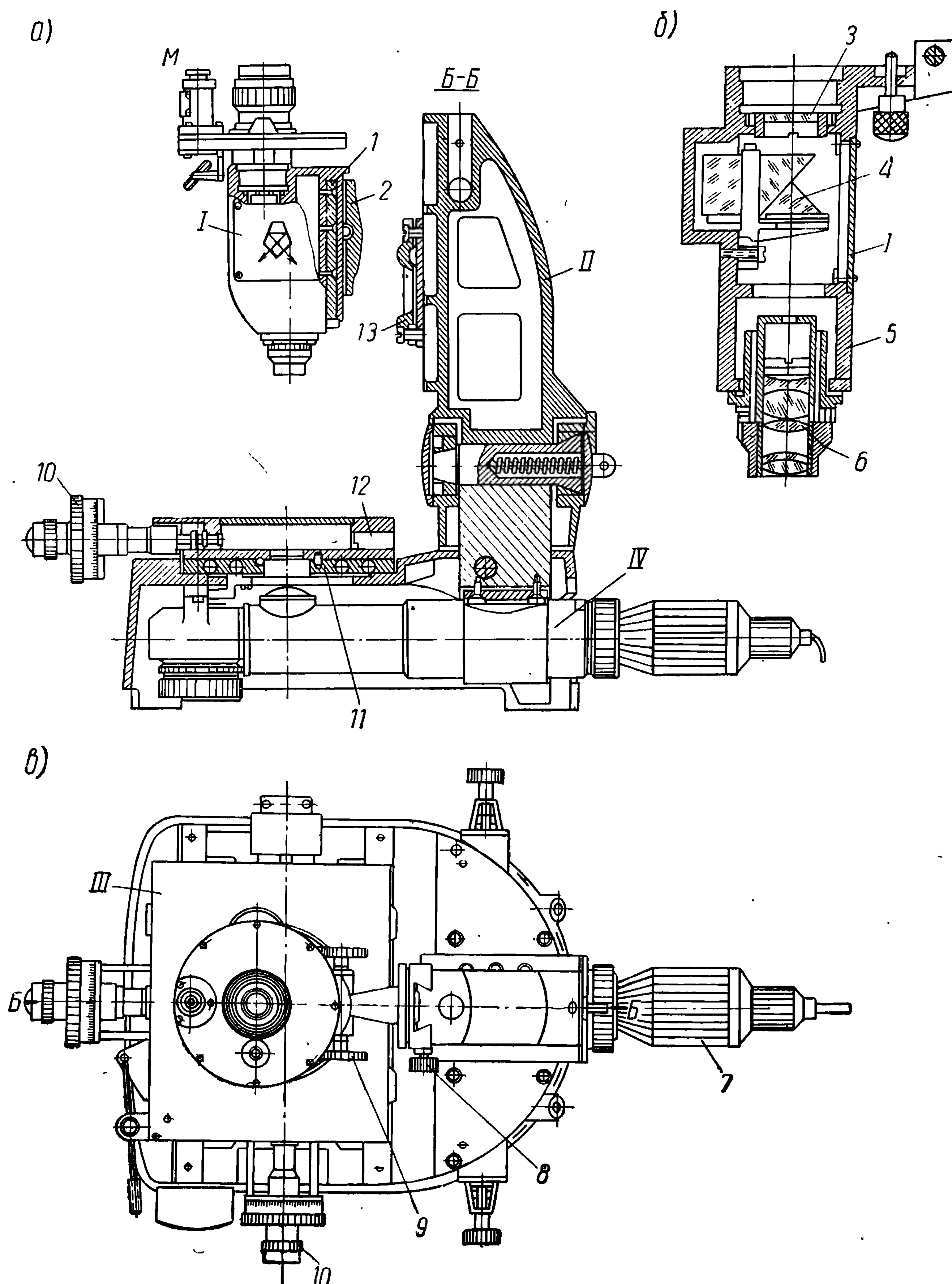


Рис. 131

винтов *10*, позволяющих производить отсчеты величины перемещения (рис. 131, *в*).

Штриховая головка (рис. 132) служит для измерения контролируемых величин; револьверная (рис. 133) — для контроля профилей резьб при помощи профилей, нанесенных на пластинке *5* головки.

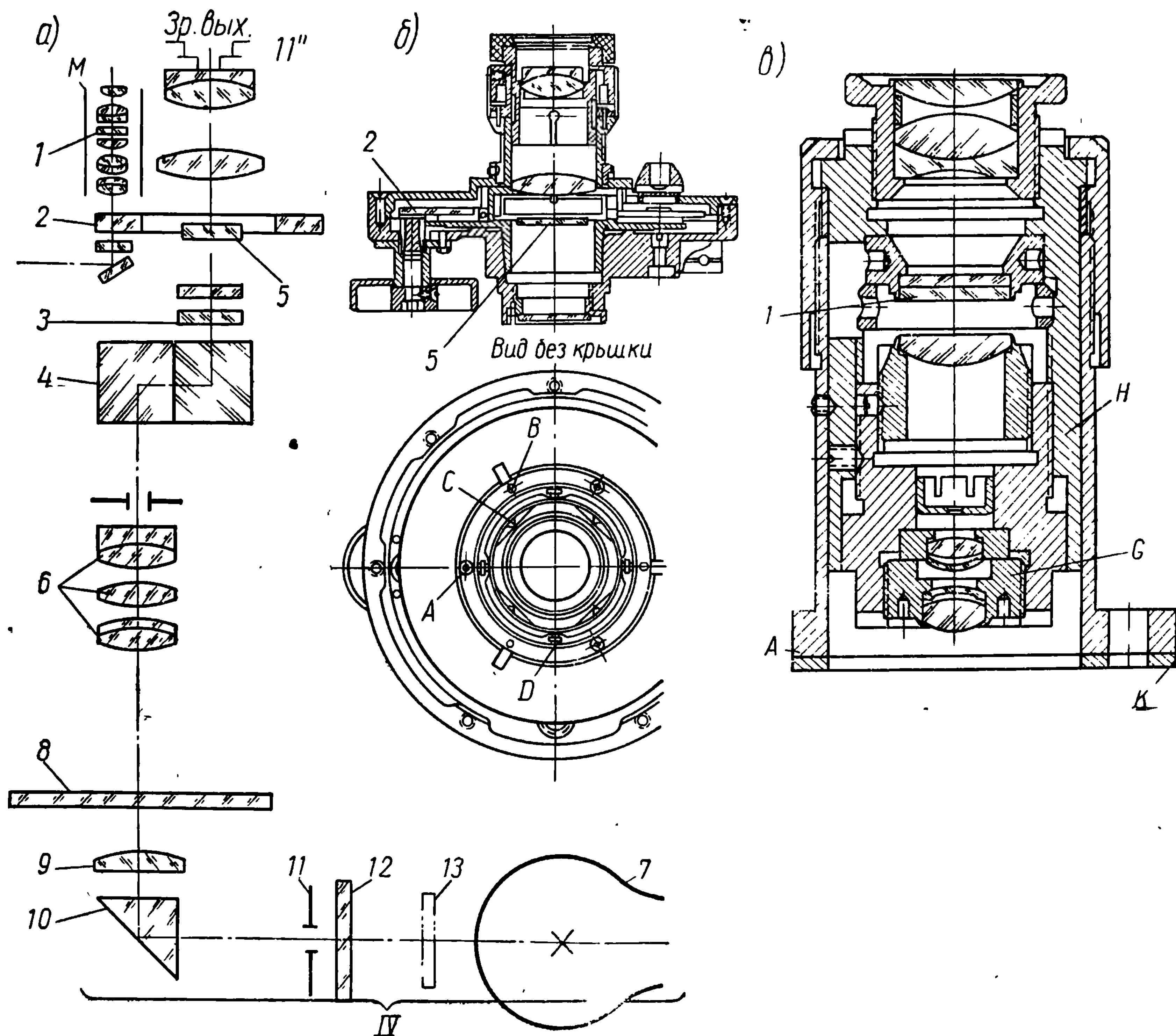


Рис. 132

Главная задача сборки прибора заключается в обеспечении точности выполняемых измерений. Для этого необходимо выполнить следующие основные условия:

1) изображение градусной шкалы *2* штриховой головки должно совпадать с минутной шкалой *1* отсчетного микроскопа *М* без параллакса (рис. 132, *а*);

2) оси вращения штриховой сетки *5* и градусной шкалы *2* штриховой головки должны совпадать с оптической осью микроскопа (рис. 132, *а*);

3) резьбопрофильная пластинка *5* и градусная пластинка *3* револьверной головки должны быть видны одновременно без параллакса (рис. 133, *б*);

4) профильная пластинка *5* должна быть центрирована относительно оси *AB* ее вращения (рис. 133, *а* и *б*);

5) градусная пластинка *3* револьверной головки должна быть установлена правильно относительно профильной пластинки *5* (рис. 133, *б*);

6) увеличение отсчетного микроскопа *M* штриховой головки (рис. 132) и увеличение собственно микроскопа *I* (рис. 131, *б*)

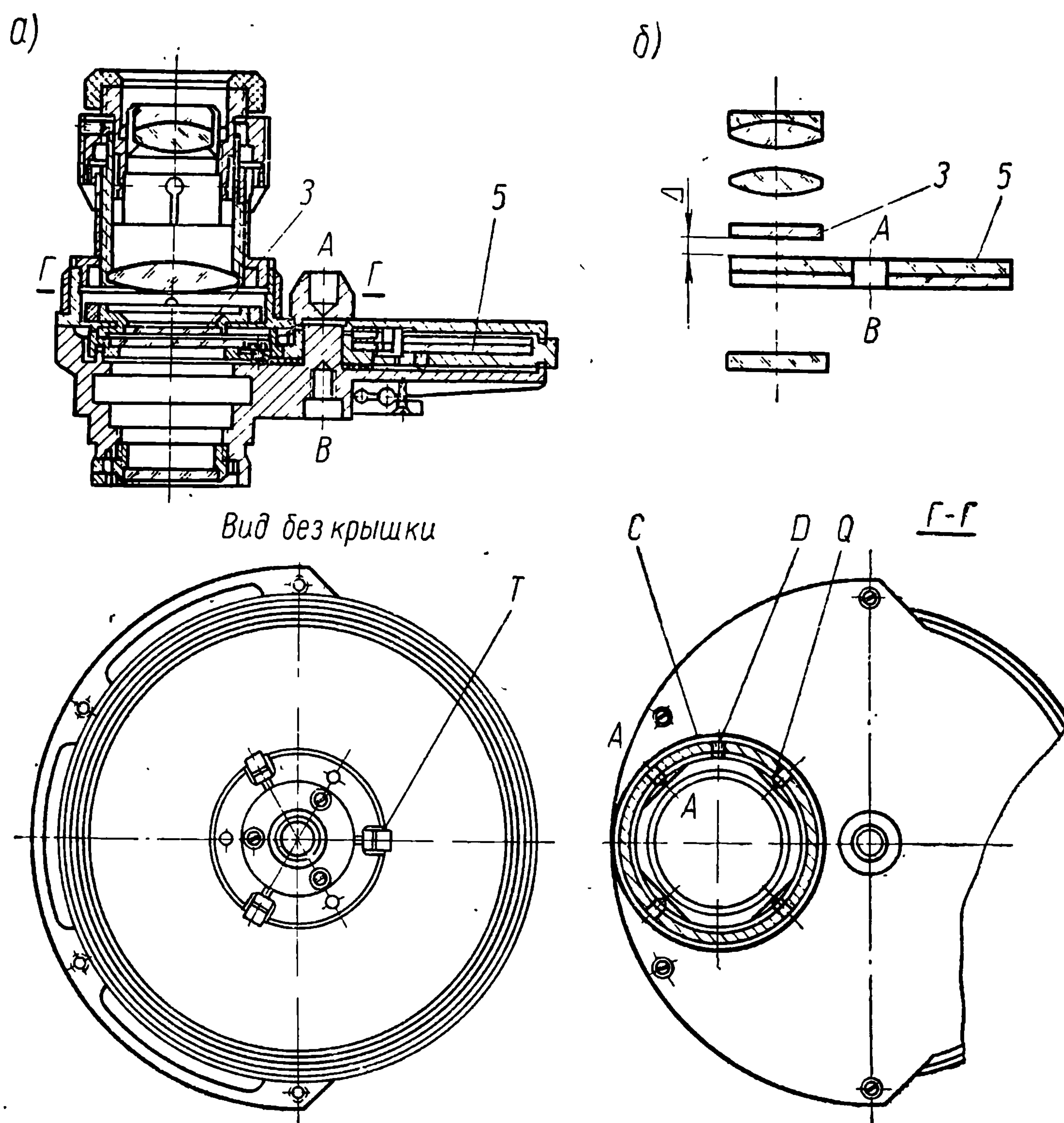


Рис. 133

при наблюдении в окуляры со штриховой и револьверной головками должны иметь заданные значения;

7) салазки *11* и *12* (рис. 131, *а*) стола *III* должны иметь прямолинейный взаимно перпендикулярный ход;

8) оптическая ось микроскопа должна быть нормальна плоскости стола *III* в пределах фокусировки микроскопа (рис. 131, *б*);

9) оптическая ось осветительной системы *IV* (рис. 131, *а* и 132, *а*) должна совпадать с оптической осью микроскопа при работе с обеими окулярными головками.

Первая юстировка достигается фокусировкой отсчетного микроскопа *М* путем изменения расстояния между шкалами *1* и *2* (рис. 132, *а*) за счет поднятия или опускания всего микроскопа *М* относительно шкалы *2*. Для этого под фланец *А* микроскопа помещается юстировочная шайба *К* определенной высоты (рис. 132, *в*). Если при вращении шкалы *2* возникает нерезкость ее различных участков, то это значит, что шкала расположена не в горизонтальной плоскости. Выравнивание

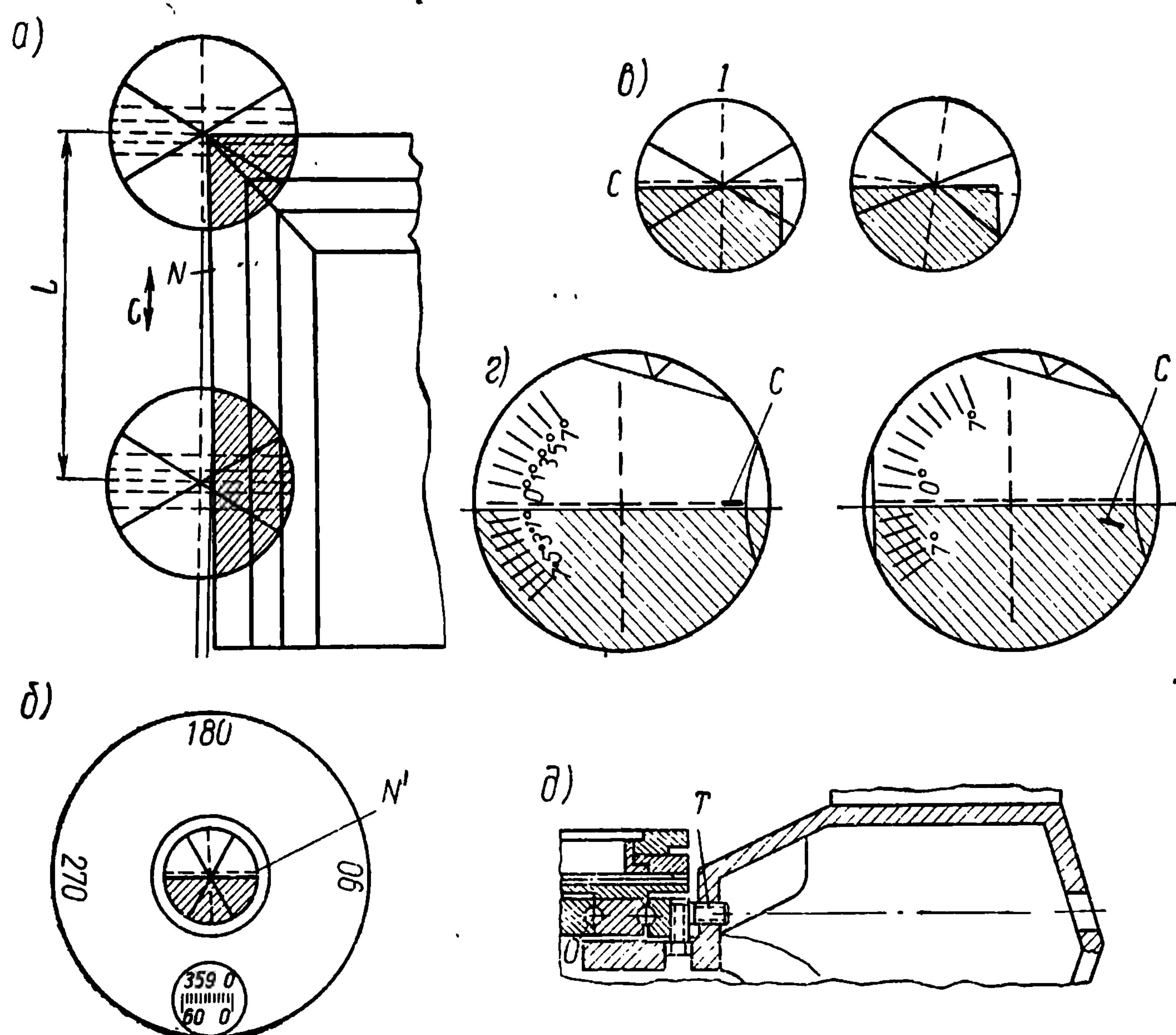


Рис. 134

шкалы осуществляется при помощи трех винтов *А* при отпущенных винтах *В* (рис. 132, *б*).

Центрировка сеток *5* и *2* штриховой головки (юстировка вторая, рис. 132, *а*) осуществляется четырьмя винтами *С* (рис. 132, *б*). Эксцентриситет шкалы *2* и сетки *5* приводит к ошибке при измерении углов; устранение эксцентриситета достигается при помощи четырех винтов *D*. Проверка эксцентриситета производится посредством линейки *N* (рис. 134, *а*), установленной (при помощи пластилина или струбцины) на столе *III* параллельно продольному ходу салазок *12* стола (см. рис. 131, *а*). Поворачивая шкалу *2*, совмещают пунктирные линии сетки с изображением *N′* ребра линейки *N* (рис. 134, *б*). При этом в отсчетном микроскопе получаются отсчеты 0, 90, 180 и 270°.

Третья юстировка обеспечивает расстояние Δ (рис. 133, *б*), выбранное из соображений, приведенных в § 9 (например, формула 43а). Нужное расстояние Δ выдерживается при помощи шайбы, помещенной между оправами шкал *3* и *5*.

Центрировка профильной пластины *5* относительно оси *AB* ее вращения (четвертая юстировка) достигается тремя винтами *T* (см. рис. 133, *а*). Юстировка взаимного положения шкалы *3* и профильной пластинки *5* должна обеспечивать совмещение горизонтальной пунктирной нити установочного креста с нулем градусной шкалы и контрольной риской *C* (рис. 134, *г*). При нарушении этого градусная шкала поворачивается при помощи четырех винтов *Q* при снятой крышке *C* и отвернутом винте *D* (см. рис. 133, *б*).

Пятая юстировка заключается в том, что вся револьверная головка (рис. 133) устанавливается на тубусе микроскопа так, чтобы изображение ребра *N* линейки, установленной на столе параллельно его продольному ходу, совпадало бы в пределах всего поля зрения микроскопа с перекрестием градусной шкалы.

В процессе шестой юстировки проводится следующее. Правильное увеличение отсчетного микроскопа *M* (рис. 132, *а* и *в*) обеспечивается [на основании формулы (14), § 4] осевым перемещением объектива *G* в оправе *H* относительно шкалы *1*.

Нужное увеличение микроскопа для наблюдения со штриховой головкой достигается перемещением объектива *6* микроскопа *I* (рис. 131, *б*) относительно окуляра. Если надо юстировать увеличение при наблюдении с револьверной головкой, то это достигается осевым изменением положения самой головки при помощи прокладки или подточкой ее опорного торца, не меняя положения объектива в тубусе.

При седьмой юстировке производится проверка прямолинейности хода стола при помощи линейки *N*, закрепленной параллельно ходу стола. Совместив перекрестие штриховой сетки с краем линейки, перемещают стол в поперечном и продольном направлениях. Смещение перекрестия от ребра линейки означает отступление от прямолинейного хода. Устранение этого дефекта сборки достигается уменьшением зазора между направляющими салазок стола *III* при помощи винтов *T* или даже заменой шариков *O* (рис. 134, *д*). Неперпендикулярность хода стола ликвидируется взаимной регулировкой направляющих салазок.

В процессе восьмой юстировки весьма важно обеспечить перпендикулярность оптической оси микроскопа плоскости стола при перемещении тубуса, так как отступление от этого условия приводит к ошибке в измерении.

Методы контроля отклонения оси микроскопа от перпендикуляра к столику указаны выше при рассмотрении сборки школьного микроскопа.

Наклон тубуса *I* (см. рис. 131, *б*) может быть в продольном (плоскость рисунка) и поперечном направлениях. Основными причинами наклонов тубуса являются дефекты механической

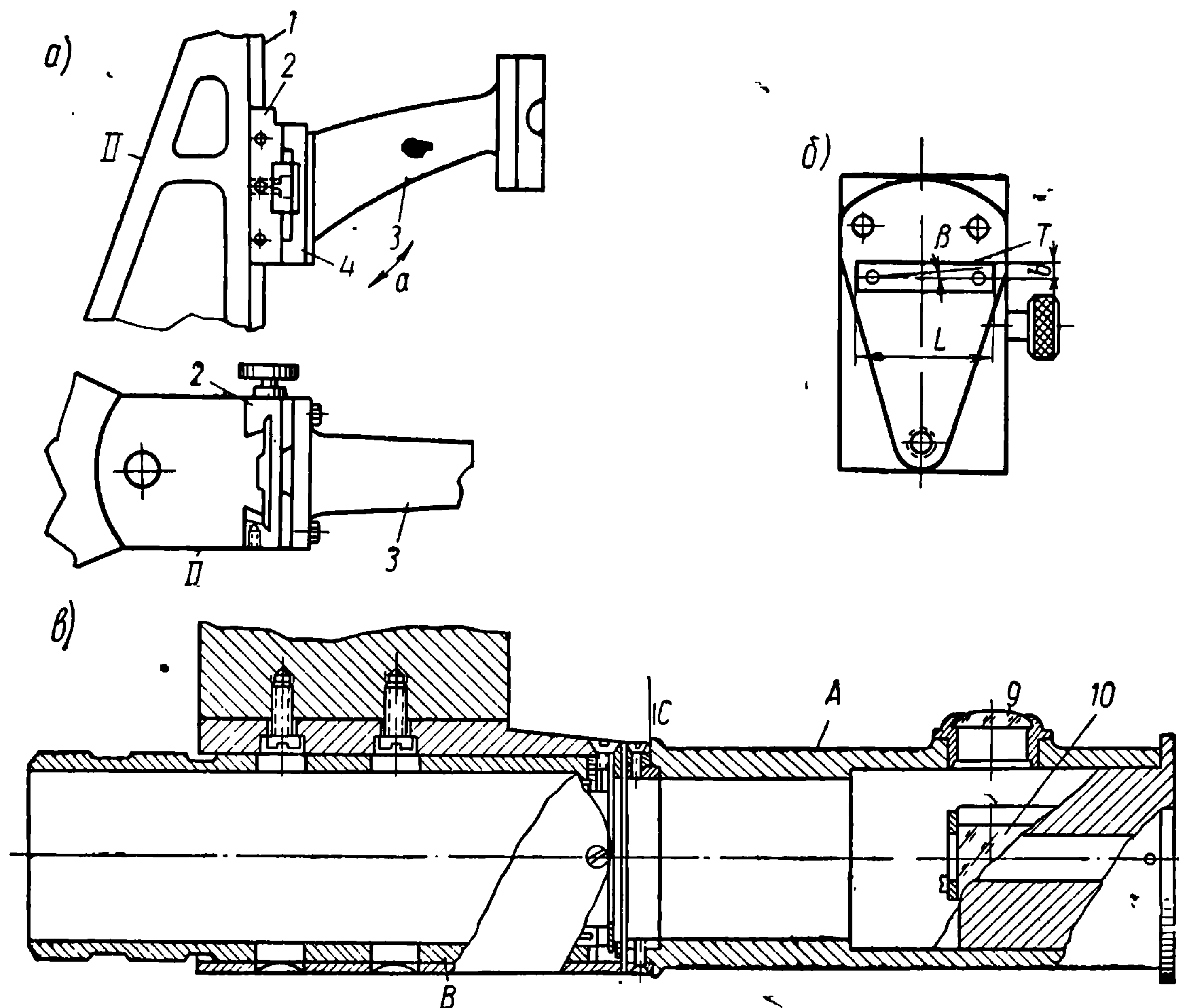


Рис. 135

сборки направляющей *1* колонки *II* с кареткой *2*, связанной с кронштейном *3* (рис. 135, *а*).

Наклоны оси тубуса устраняются следующим образом. При наклоне тубуса в плоскости чертежа (рис. 135, *а*) по стрелке *а* его устраняют при помощи прокладок под верхние или нижние поверхности фланца *4*, соединяющего кронштейн *3* с кареткой *2*. Наклон тубуса в плоскости, нормальной чертежу, устраняется наклоном шпонки *T*, при помощи которой фланец *4* надевается на каретку *2*. Величина *b* наклона шпонки, очевидно, равна $L \operatorname{tg} \beta$, где L — длина шпонки (рис. 135, *б*).

Кронштейн *3* должен также плавно и без качки перемещаться в направляющих *1* колонки *II* (рис. 135, *а*). Проверка производится так же, как и контроль перемещения тубуса.

С о в м е щ е н и е о с и о с в е т и т е л ь н о й с и с т е м ы с о п т и ч е с к о й о с ь ю м и к р о с к о п а (десятая юстировка) осу-

ществляется следующим образом. Осветительная система *IV* (см. рис. 132, *а*) состоит из лампы *7*, матового стекла *13*, светофильтра *12*, ирисовой диафрагмы *11*, призмы *10* и конденсора *9*. Ось осветительной системы определяется прямой, проходящей через главные точки конденсора *9* и центр диафрагмы *11*.

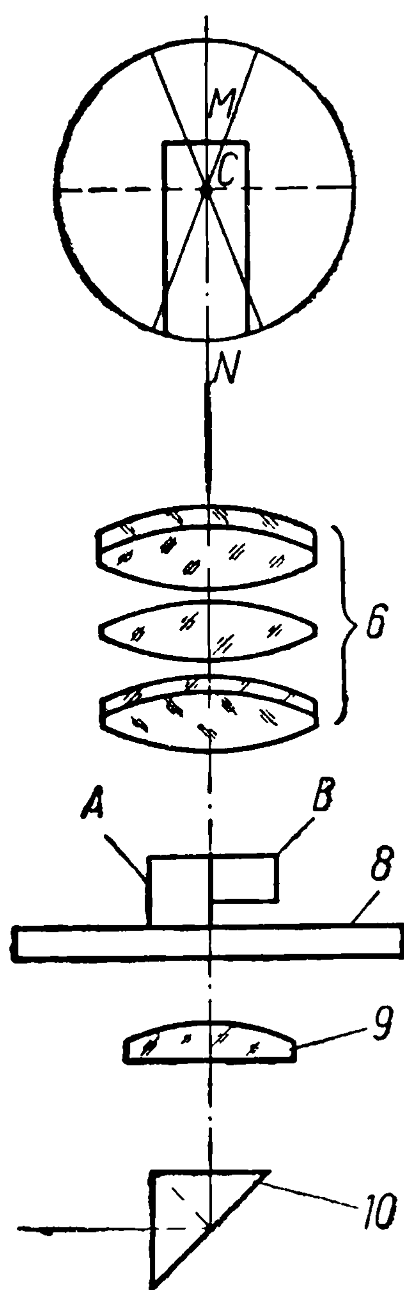


Рис. 136

При помощи динаметра (см. § 4) или диоптрийной трубки (см. § 9) добиваются резкого видения зрачка выхода микроскопа и изображения *11'* отверстия ирисовой диафрагмы *11* (рис. 132,*а*). Сделав отверстие последней несколько меньшим диаметра зрачка выхода микроскопа, наблюдают степень концентричности обеих диафрагм.

Совмещение оси осветительной системы с осью микроскопа достигается разворотом тубуса *А* с конденсором *9*, поворотом призмы *10* и наклоном тубуса *А* относительно трубы *В* (рис. 135,*в*) при помощи прокладки, помещаемой между торцами *С* трубки *В* и тубуса *А*.

Более точно правильность положения оси осветительной системы проверяется при помощи двух притертых друг к другу плиток *А* и *В* (рис. 136), установленных на столе *8* микроскопа так, чтобы центр *С* сетки проходил через плоскости контакта пластинок (линия *MN*). При хорошей соосности осветительной системы и микроскопа видимый контур граней плиток одинаково резок и равномерно освещен.

Глава VII

СБОРКА И ЮСТИРОВКА БИНОКУЛЯРНЫХ ПРИБОРОВ

Бинокулярные приборы можно разделить на две основные группы — телескопические и микроскопы. Из первой группы рассматриваются их типичные представители — бинокли (призматический и бинокль Галилея), во второй группе освещаются микроскопы БМ-2 и МБС.

§ 48. Бинокли

Рис. 137, *а* дает представление о распространенной конструкции призматического бинокля Б8×30 и его основных сборочных узлах: окуляр — сб. *I*, объектив — сб. *II*, сетка в оправе — сб. *III*, корпусы с шарниром — сб. *IV*, корпусы с призмами — сб. *V*.

К механической сборке относится сборка корпусов *1* и *4* с осью *7* (рис. 137, *а*). Основная задача этой сборки заключается в обеспечении плавного и тугого вращения ушек *5, 6* и *8* корпусов *1* и *4* относительно оси *7* шарнира без перекосов (качки).

Поскольку при обработке ушек и корпусов обеспечивается перпендикулярность геометрических осей ушек опорным плоскостям *С* призменных мостиков (рис. 137, *б*), то при выполнении указанных условий сборки будут сохраняться постоянство базы *В* прибора (при развороте корпусов) и параллельность геометрических осей трубок окуляров и объективов обоих корпусов.

Для обеспечения сборки корпусов с осью оси *7* сортируются на группы по величине отступления их коничности от коничности отверстий в ушках *5, 6* и *8* корпусов.

Подобрав развертку, соответствующую группам осей, развертывают ушки корпусов, обеспечивая нужный зазор (не более 0,6 *мм*). Между плоскостями ушек помещают шайбы *Т*; они должны входить туго. Детали промываются и просушиваются. Трущиеся части ушек и оси покрываются графитной смазкой. Собирают шарнир и запрессовывают ось в ушке *5*, проверяя плавность хода вращения. Гайка *10* завертывается в ось шарнира до отказа (сверлятся два отверстия во фланце оси, куда заштифтовываются 4 штифта *9*). На ушках корпусов

наносится индекс *А* отсчета по шкале баз (рис. 137, *в*), заполняемый белилами. Подбирается верхний диск *2* по головке оси; совместив индекс *А* с делением *65* шкалы, закрепляют диск *2* винтом *3*.

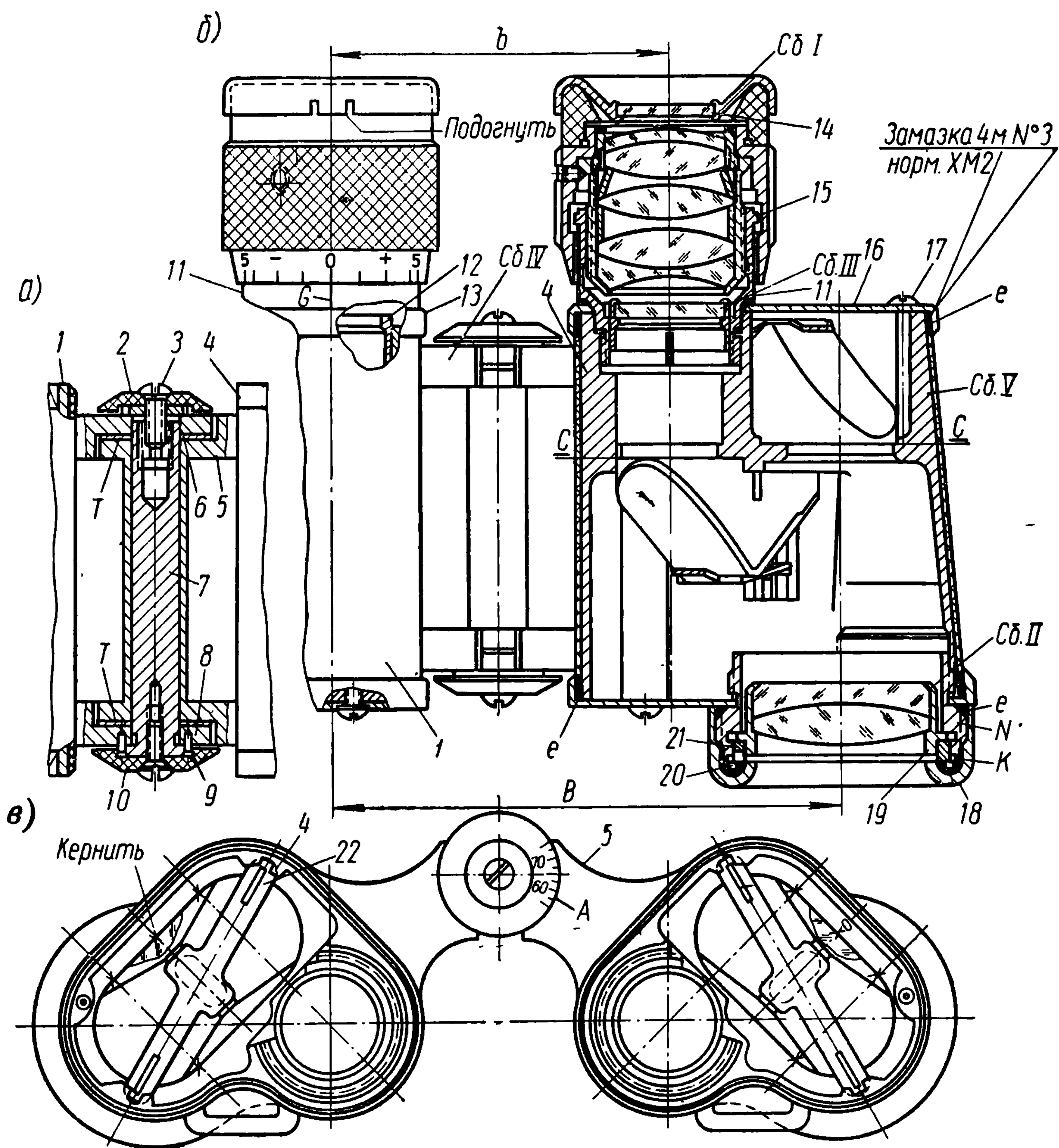


Рис. 137

Предварительная сборка оптических узлов

Сборка узлов объектива, окуляра и сетки в оправах описана в § 26, 27, 28.

Спецификой сборки объектива в данном случае является сортировка объективов по группам с обеспечением рабочего отрезка *L* (рис. 138, *а*) в заданных пределах. Рабочий отрезок, как в фото- и микрообъектах (см. § 30), определяет правильное положение объектива относительно плоскости изо-

бражения. Этот подбор объективов обусловлен различной длиной хода луча в обеих трубках бинокля, вследствие того что сетка имеется только в одной из его трубок, а также и некоторым различием длины хода луча в призмах, вызываемым отклонениями в их размерах. Кроме того, сортировка объективов на группы расширяет в известной степени допуски на точность изготовления линз объектива.

Сущность сортировки объективов заключается в следующем. Оправы объективов (*1* на рис. 138,*а* и *19* на рис. 137,*б*) протачиваются на глубину Δ, постоянную в пределах одной группы, но отличную от аналогичного размера в других. Тогда после завальцовки объектива и закрепления его в оправе *2*, ввертываемой в корпус бинокля *, будем иметь группы объективов (порядка пяти) с различными значениями рабочего отрезка *L*. Эти значения выражаются в диоптрийной мере, вследствие чего данный метод называют подбором объективов на диоптрийность.

Определение диоптрийности выполняется на установке, схематично представленной на рис. 138,*б*. Наблюдательная трубка *I* выставляется по коллиматору *II*. Окуляр *M* установлен неподвижно и соосно с наблюдательной трубкой. Относительно окуляра *M* перемещается труба *N* (по стрелке *C*), в правом конце которой

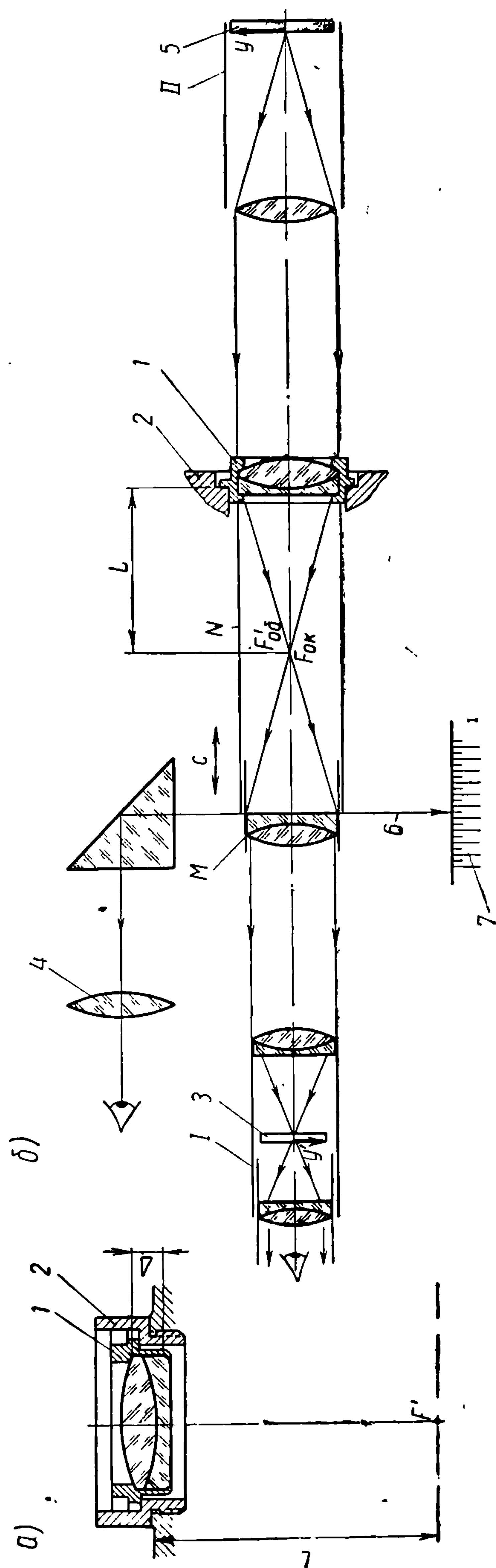


Рис. 138

* На рис. 137 она обозначена через *N*.

монтируется узел испытуемого объектива в оправах 1 и 2. Когда задний фокус объектива $F'_{об}$ совпадает с передним фокусом $F_{ок}$ окуляра *М*, изображение *у'* перекрестия *у* сетки 5 коллиматора совпадает с плоскостью сетки 3 трубы *I*. Значение отрезка *L* прочитывается по шкале 7 (нанесенной на трубке *N*) относительно индекса 6, имеющегося на оправе окуляра *М*. Отсчет значения отрезка *L* производится при помощи лупы 4 с точностью до 0,1 *мм*.

Сборка корпусов с призмами

Основной задачей данной сборки является установка призм в корпусах прибора с обеспечением взаимной параллельности оптических осей трубок и параллельности их оси 7 (рис. 137, *а*) шарнира без наклона изображения.

Сборка идет следующим образом. Подбирают призмы, располагая их в посадочных местах мостиков корпусов и проверяя возможность перемещений призм в зазорах при юстировке. Отметив расположение призм на мостиках, вынимают их из корпусов, смазывая внутренние поверхности корпусов смазкой, не касаясь посадочных поверхностей мостиков. Вычислив призмы, ставят их на мостиках, закрепляя пружинками 22, вводимыми в пазы *М* корпусов (рис. 94, *а*). Установив крышки 16, ввертывают в корпуса эталонные объективы и окуляры.

На юстировочной установке (см. § 37, рис. 94) добиваются поворотами и наклонами призм параллельности осей и допустимого наклона изображения; наклон призм обеспечивается прокладками, которых по условиям надежности крепления не должно быть более трех на одну призму, или кернением опорных плоскостей призменного мостика в зазоре между призмой и стенкой мостика (рис. 137, *в*). После юстировки следует проверить разрешающую силу призм (см. § 12).

Окончательная сборка бинокля

На этом этапе сборочного процесса прибора устанавливаются объективы, окуляры, сетка в правой трубке и полевая диафрагма 12 (рис. 137, *б*) в левой. Прибор юстируется на отсутствие параллакса, окончательно на параллельность оптических осей, а также величину передвижения окулярных шкал.

Перед установкой оптических узлов выполняются следующие сборки. На посадочные места корпусов под крышки 16 наносится слой водонепроницаемой замазки *е*. На корпусы надеваются крышки 16 (прижимаемые до упора в корпус) и закрепляются винтами 17. На посадочные торцы оправ *N* объективов также наносится слой замазки *е*, после чего они ввертываются в корпусы до упора.

Диафрагма 12 смазывается кругóм тонким слоем смазки и ставится в левый окуляр по чертежу (на глубину 2 *мм*). Труб-

ки бинокля разворачиваются на базу 65 *мм* и на детали *11* наносится риска, определяющая положение вертикальных штрихов сетки (см. § 8). Чистят сетку (сб. *III*) и ставят ее в окуляр по чертежу.

Установка окуляра описана в § 28.

В оправы *N* вставляются эталонные объективы, подбирая их по группе диоптрийности так, чтобы параллакс сетки был не более *3'*. В соответствии с эталонными объективами подбираются рабочие объективы по их группам (см. выше), внутренние поверхности которых чистятся. Устанавливаются эксцентриковые кольца *21*. Рабочие объективы устанавливаются в нулевое положение с проверкой параллакса сетки и закрепляются кольцами *20*.

При необходимости параллакс устраняется передвижением сетки, вывернув окуляр из корпуса и проверяя разворот сетки. Окончательно устанавливается нуль шкалы диоптрий окуляров. Выполняется окончательная юстировка параллельности осей объективов вращением эксцентриковых колец *21* и самих объективов при освобожденных кольцах *20*. После юстировки кольца *20* следует окончательно укрепить. Контроль и юстировка параллельности осей проводятся при расстояниях между осями 58, 65, 72 *мм* и при установке окуляров на нуль диоптрий.

Колпачки *18* объективов подбираются по резьбе к детали *N* так, чтобы в завернутом положении колпачки не упирались в оправу *19* объектива. Наносят замазку *k* на оправу *N* под колпачки и доворачивают их до отказа. Производят горячее уплотнение прибора в местах соединения крышек, оснований окуляров и обойм объектива с корпусом. Уплотняют места соединения раковин со светофильтрами *14*. Проверяют прибор и чистят оптические детали снаружи прибора. Проводится окончательный контроль свойств прибора.

Бинокль Галилея

Сборка таких биноклей значительно проще, чем призматических.

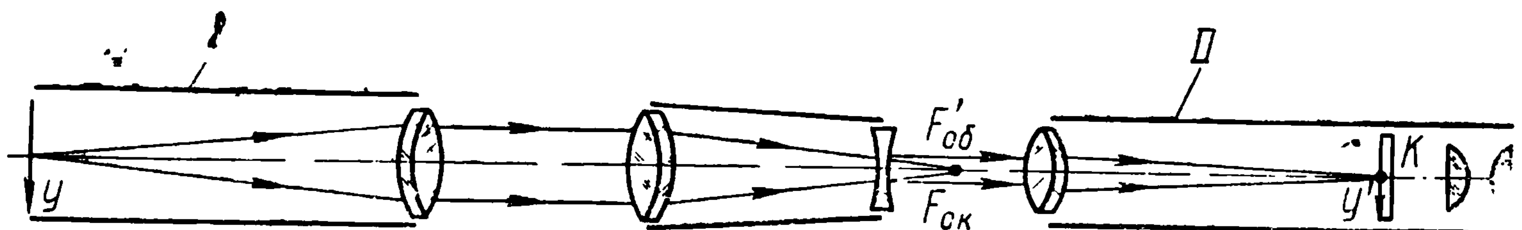


Рис. 139

Совмещение фокусов окуляра и объектива трубок бинокля производится при помощи коллиматора *I* и зрительной трубы *II* (рис. 139). При правильной сборке трубок изображение *y'* сетки *y* коллиматора должно совпадать с сеткой *K* зрительной

трубы. Для устранения параллакса перемещают объективы в оправе, используя прокладки (например, *13* на рис. 117). Перед юстировкой окуляры устанавливаются в положение, обеспечивающее им нужное перемещение в плюс и минус.

Параллельность оптических осей трубок достигается эксцентриковыми оправами *21* объективов (рис. 137, *б*).

§ 49. Бинокулярные микроскопы

В качестве примера сборки приборов этой группы рассматриваются распространенные микроскопы БМ-II и МБС-I. Эти приборы не являются измерительными, а благодаря значительной стереоскопичности предназначены для рассмотрения мелких рельефных предметов и препаратов.

Микроскоп БМ-II (рис. 140) сконструирован по схеме рис. 45, *е* (см. § 14). Основными узлами прибора являются корпусы *I* с призмами, заимствованные от бинокля (см. § 48), окуляры *1*, съемный корпус *8* с вмонтированными в него узлами объективов *10*. При установке окуляров прибора по базе *b* глаз корпусы *I* могут поворачиваться вокруг осей объективов *10* при помощи втулок *6* (ввинченных в корпусы *I*) относительно корпусов *7*. Окуляр *1* при установке по глазу перемещается вдоль своей оси (по стрелке *а*) при освобождении разрезной цанги *3* гайкой *2*. Оси объективов пересекаются в точке *О* плоскости *P* объекта под углом γ.

Основная задача сборки прибора заключается в обеспечении угла γ осей объективов и сопряжении плоскости *P* объекта с плоскостью *P'*, проходящей через передний фокус $F_{ок}$ окуляра *1* в его нулевом положении.

Прибор выпускается крупными сериями. Поэтому при его сборке для решения поставленных задач применяется метод комплектации объективов по их фокусным расстояниям (как и в биноклях, § 48).

Положение осей объективов *10*, образующих угол γ, обеспечивается точной расточкой отверстий в корпусе *7* и съемном корпусе *8*. Это основная механическая база для обеспечения угла γ.

Сборка идет следующим образом. Призмы юстируются в корпусе *I* для устранения наклона изображения (см. § 37 и 48) и правильного положения оптических осей (см. § 14, рис. 45, *е*). Объективы комплектуются по диоптрийности на установке, схематично представленной на рис. 141, *а*. Микроскопы *II* установки сфокусированы на плоскости *P'*, сопряженные с плоскостью *P* объекта (сетка). Корпусы *I* с призмами и корпусами *7* устанавливаются на державке установки (на рисунке не показано). Надевается съемный корпус *8* с комплектуемыми объективами; при правильном их подборе фокусировка микроско-

пов *II* на плоскости *P′* не нарушается. В обратном случае величина перефокусировки может быть определена по шкалам *A* при перемещении микроскопов по стрелке *б*; по этой величине подбираются объективы с нужной диоптрийностью.

Рис. 140

Рис. 141

Сняв корпус *8* с объективами, центрируют окуляры *1* (см. рис. 140) относительно осей отверстий корпуса *7*. Для этого корпусы *7* с эталонными объективами в корпусе *8* и корпу-

сами *1* призм монтируются на установке (рис. 141, *б*). В верхние крышки корпусов *I* призм устанавливаются эксцентриковые кольца *Т* (см. рис. 22, *а*), куда вводятся эталонные окуляры *М* с сетками. Перемещая окуляры по оси, совмещают их сетки *С* с изображениями *К'* сетки *К*, находящейся в плоскости *Р* объекта, а разворотом эксцентриковых колец *Т* центрируют эталонные окуляры до совмещения перекрестия *С* их сеток с изобра-

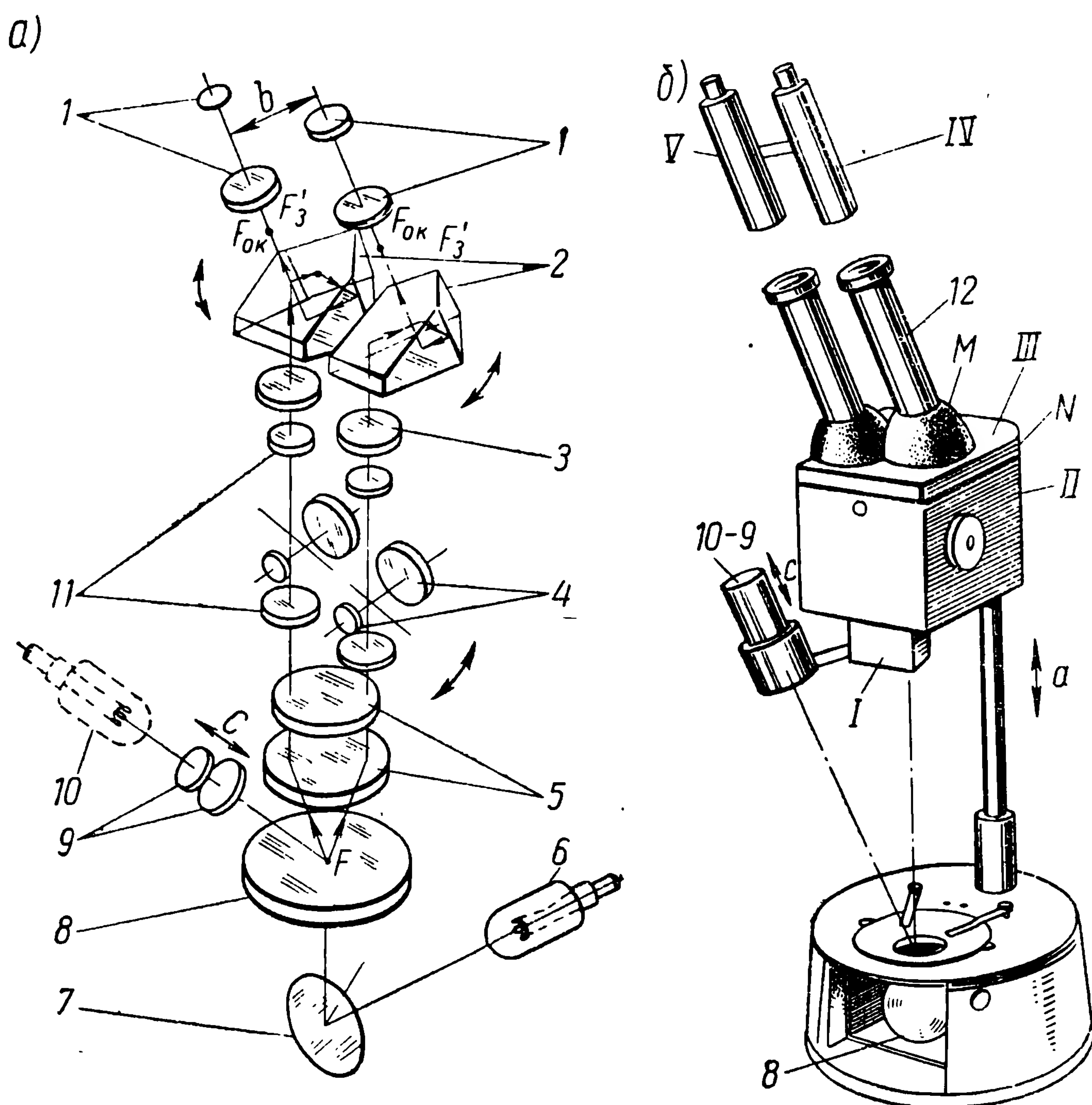


Рис. 142

жением перекрестия *К'* сетки *К*. Закрепив эксцентриковые кольца, снимают эталонные окуляры и устанавливают вместо них окуляры *1* микроскопа, которые, очевидно, теперь будут центрированными относительно отверстий корпуса *7*. Сняв эталонные объективы, надевают корпус *8* с подобранными объективами микроскопа и центрируют их тремя винтами *9* (рис. 140) на установке рис. 141, *б* по сетке *К* и сетке эталонного окуляра *М*, который вновь вставляется для этого вместо окуляра *1* микроскопа. На этой же установке проверяется и увеличение трубок микроскопа.

Микроскоп МБС (рис. 142), выполненный по схеме рис. 45, *ж* (см. § 14), служит для наблюдения объемных изобра-

жений в проходящем и отраженном свете. В первом случае объект помещается на стеклянную пластинку *8* и освещается лампочкой *6* посредством зеркала *7*; во втором случае освещение объекта производится лампочкой *10* и конденсором *9* (рис. 142, *а*).

Оптическая схема микроскопа (рис. 142, *а*) состоит из следующих узлов: объектива *5*, в переднем фокусе *F* которого помещается наблюдаемый объект; системы переменного увеличения *4* и *11*; объектива *3* зрительных труб с призмами *2* и окулярами *1*. Системы переменного увеличения состоят из двух пар

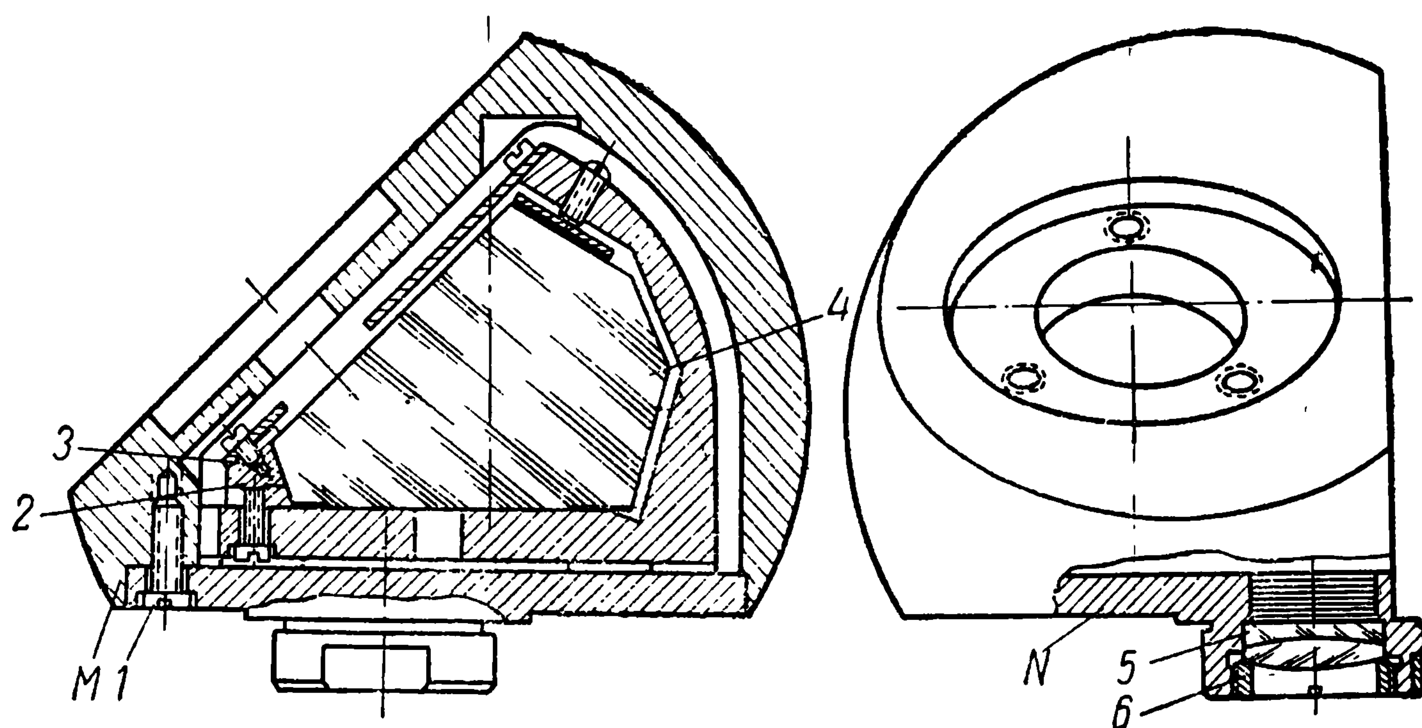


Рис. 143

(*4* и *11*) трубок Галилея с разными увеличениями. Призмы *2* позволяют разворачивать окулярные трубки при изменении базы *b* глаз без наклона изображения объекта.

Конструктивно прибор состоит из следующих основных самостоятельно юстируемых сборочных узлов (рис. 142, *б*): 1) объектива *I* с осветителем *10—9*; 2) корпуса *II* с системой переменного увеличения; 3) окулярной головки *III* с объективами *3* и призмами *2*, окулярными трубками *12* и окулярами *1*.

Объектив *I* собирается по принципу комплектации, обеспечивающему заданную фокусную длину объектива, и при сборке не юстируется. Осветитель *10—9* объектива юстируется при работе прибора перемещением по стрелке *C* для достижения наилучшего освещения объекта.

Юстировка корпуса *II* с системами переменного увеличения рассмотрена в § 38 (рис. 103 и 104).

Юстировка окулярной головки *III* выполняется следующим образом. Объектив *5* (рис. 143) устанавливается в плато *N* головки до упора и крепится кольцами *6*. Призмы *4* устанавливаются предварительно при помощи планки *2* и винтов *3*; крепление призмы понятно из рисунка. Закрепляют корпус *M* головки на плато *N* винтами *1*.

Укрепив в корпусе M окулярные трубки 12, вводят в них контрольные окуляры T с сетками K (рис. 144). Устанавливают окулярную головку на стол G контрольной установки с коллиматором A. Перемещениями призм 4 и корпуса M относительно плато N (рис. 143) добиваются параллельности осей трубок 12 до совмещения в поле зрения окуляров изображения C' креста C сетки коллиматора с перекрестием K сеток окуляров (рис. 144); при изменении базы b изображение перекрестия сетки коллиматора не должно смещаться.

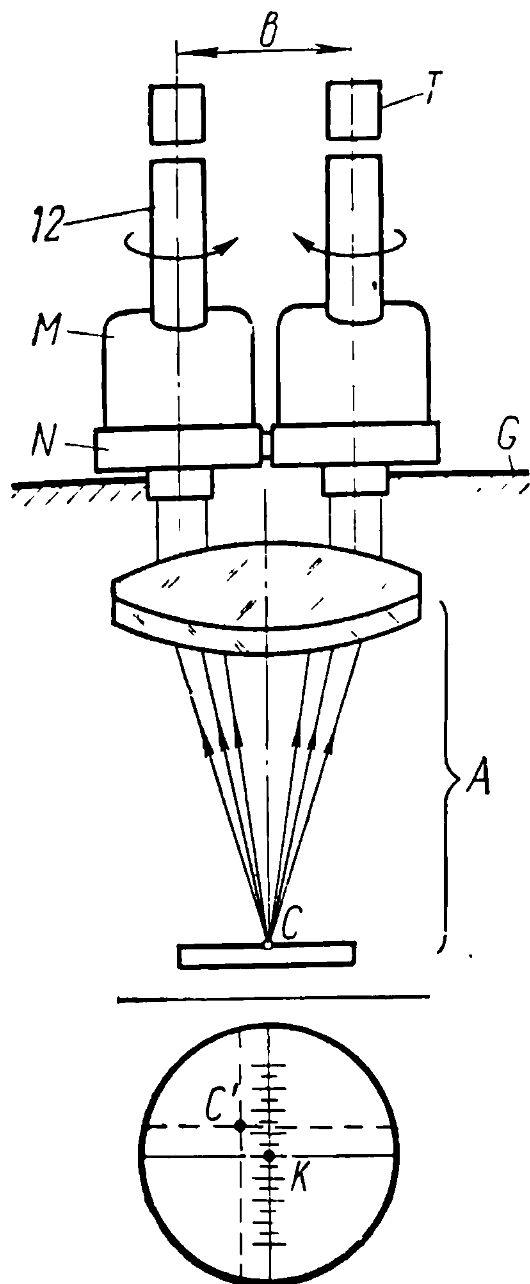


Рис. 144

Для установки окуляров 1 с объективами 3 (рис. 142, *а*) в нулевое положение нужно скомплектовать трубки 12 (рис. 142, *б*) по их длинам, чтобы при любом сменном окуляре его передний фокус совпадал с задним фокусом объектива 3. Контроль этой юстировки осуществляется диоптрийной трубкой, вставляемой в трубки 12 вместо контрольных окуляров T (рис. 144).

Если длина трубки 12 правильная, то отсчет по шкале диоптрий трубки должен быть нулевым. Смещение индекса шкалы диоптрийной трубки дает в линейной мере величину расфокусировки, обусловленной большей длиной трубки 12; ее в этом случае подрезают в соответствии с указанной по шкале величиной. Проверяется и, если надо, устраняется юстировкой призм срез зрачков (см. § 6).

Правильная сборка указанных узлов должна обеспечить нормальную работу прибора. Наиболее трудно обеспечить параллельность осей телескопических систем окулярной головки и систем переменного увеличения (см. § 14, 37, 38).

После сборки всех узлов готовый прибор проверяется на параллельность осей при помощи телескопических трубок IV и V (рис. 142, *б*), оси которых строго параллельны.

В качестве объекта на пластинку 8 (рис. 142, *а*) кладется пластинка с перекрестием. Фокусировка микроскопа на эту пластинку выполняется перемещением всего прибора по кронштейну (по стрелке *а*, рис. 142, *б*).

Методика контроля аналогична контролю биноклей по схеме рис. 49, *а*. Нарушение параллельности осей бывает в большинстве случаев за счет неточного вращения узла систем переменного увеличения (см. § 38, рис. 103). В этом случае устраняют

непараллельность осей регулировкой шайб *6* при помощи винтов *К* (рис. 103).

Сравнительно редко приходится прибегать к юстировке окулярной головки. Учитывая трудность этой юстировки, окуляры микроскопа при сборке центрируются, что не делается при сборке монокулярных микроскопов. Контроль центрировки окуляров производится на установке (рис. 145), имеющей хорошо

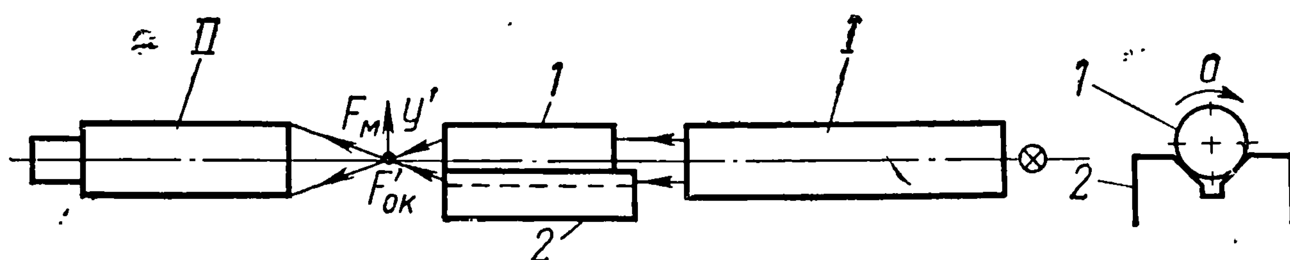


Рис. 145

центрированные коллиматор *I* и микроскоп *II*. Собранный окуляр *1* помещается в призмах *2*. Микроскоп устанавливается так, чтобы его передний фокус $F_м$ совпадал с задним фокусом $F'_{ко}$ окуляра, где будет находиться изображение y' сетки y коллиматора, даваемое окуляром. Тогда окончательное изображение сетки коллиматора будет совпадать с плоскостью сетки микроскопа. Вращая окуляр *1* в призмах *2* (по стрелке *a*), можно оценить степень центрировки окуляра величиной биения изображения y' креста y сетки коллиматора относительно креста сетки окуляра, оцениваемой по шкале сетки микроскопа. Повышение точности центрировки достигается разворотом глазной линзы окуляра.

Увеличение микроскопа обычно находится в допуске и не контролируется.

Обязательно проверяется разрешающая сила микроскопа по мире (см. § 12), помещенной на пластинку *8* (рис. 142, *а*).

Глава VIII

СБОРКА ФОТО-, КИНОСЪЕМОЧНОЙ И ПРОЕКЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ

§ 50. Малоформатные фотоаппараты

Общие сведения

Работа фотоаппарата обеспечивается его объективом и рядом агрегатов: устройство фокусировки объектива на объект; затвор; механизмы диафрагмы, выдержки, спуска, перемотки пленки, синхронизации.

Сборка большинства механизмов аппарата заключается в процессах пригонки деталей и отладки механических узлов. Эти операции в книге не описываются. Разберем только юстировки, обеспечивающие важнейшие оптические параметры и свойства аппарата — рабочий отрезок камеры, работу дальномера совместно с объективом и контроль экспозиций затвора.

Рассматриваются два вида аппаратов — с дальномером (типа «Зоркий») и зеркальный («Зенит») без дальномера.

Сборка объективов уже была рассмотрена в § 32, 33.

Постоянство рабочего отрезка *L* камеры (см. рис. 69, *а*) необходимо, чтобы при замене одного объектива другим, в пределах комплекта к аппарату, положение изображения одного и того же объекта не менялось.

Контроль рабочего отрезка *L* камеры осуществляется на приборе, схематично изображенном на рис. 146. Испытуемая камера *1* устанавливается опорным торцом *A* (рис. 146 и рис. 69, *а*) на столик *2* контрольного прибора. Призмы *3* и *4* прибора установлены так, что лучи, идущие от источника света *5* и проходящие конденсор *6*, сетку *7*, призмы *8* и *9*, объектив *10* и призму *11*, отражаются от полированной поверхности планки *B*, к которой прижимается пленка *ED* деталью *19* (см. рис. 69, *а*). Прибор сконструирован так, что при правильном расстоянии *L* от торцовой поверхности *A* до планки *B* (рис. 146) лучи света после отражения от нее пройдут объектив *12*, призму *13*, детали *15*, *16* и дадут на сетке *17* изображение *C′* горизонтальной нити *C*, нанесенной на сетке *7* прибора (рис. 146).

При неправильном рабочем отрезке камеры часть лучей после отражения от планки *B* пройдет через призму *14* (луч —

две стрелки) и даст в поле зрения дополнительное изображение C'', параллельное первому C' (рис. 146).

Для достижения нужного значения отрезка L камеры применяют прокладку *20* (см. рис. 69, *а*), помещаемую между фланцем *21* камеры и ее стенкой *22*. Толщина прокладки должна быть такой, чтобы изображения C' и C'' при контроле рабочего отрезка совпадали (рис. 146). Поскольку допуски на рабочий отрезок камеры и рабочий отрезок объектива могут сложиться

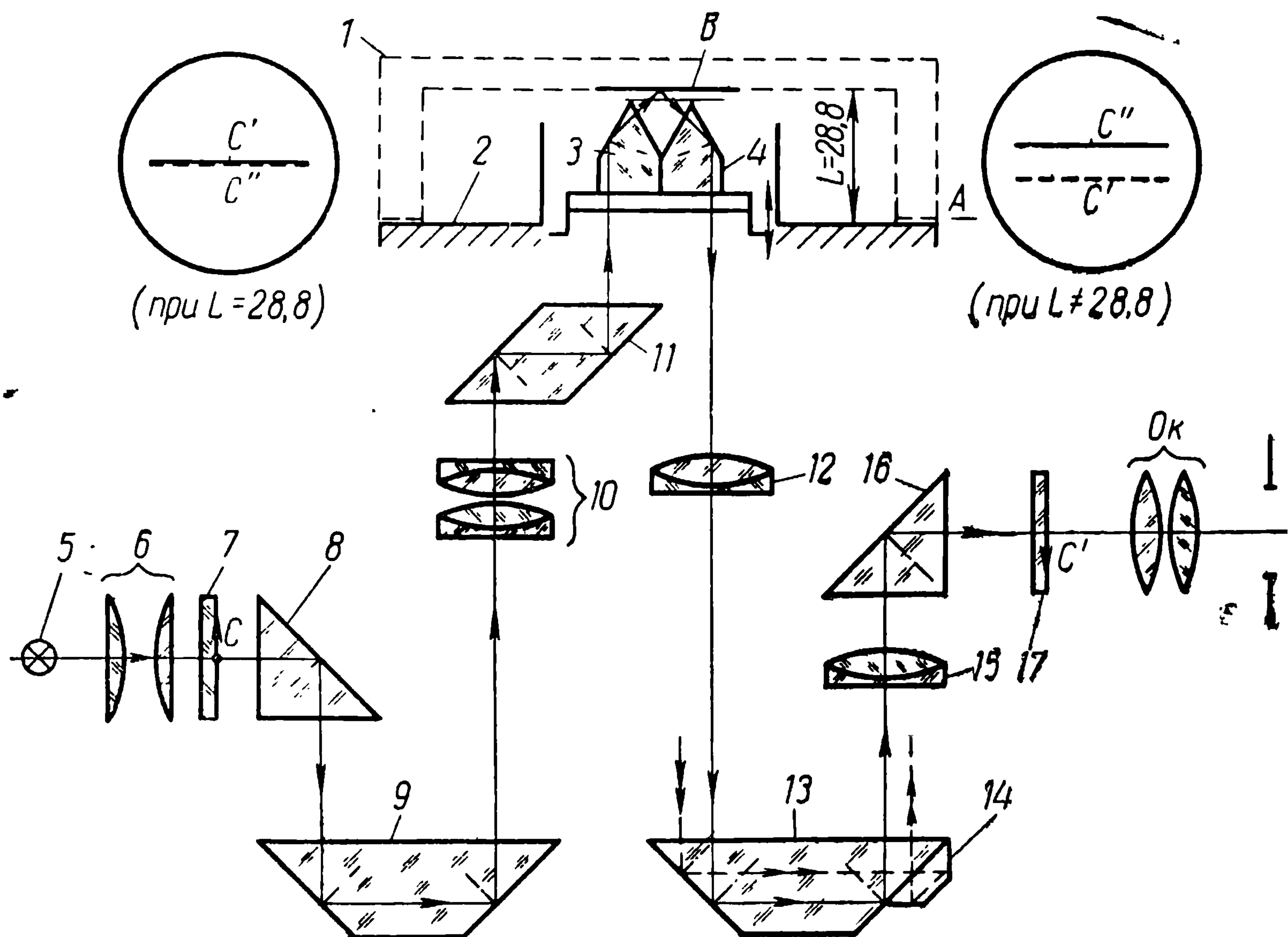


Рис. 146

неблагоприятно, то после отладки рабочего отрезка камеры к ней подбирают объектив (основной из комплекта объективов к фотоаппарату) с соответствующим рабочим отрезком.

Во избежание перекоса при совпадении плоскости изображения с плоскостью пленки необходимо, чтобы плоскость *А* фланца *21* камеры была параллельна плоскости *ED* прикладной рамки *19* (см. рис. 69, *а*). Это условие проверяется либо глубиномером, либо автоколлимационной трубкой.

Схема контроля первым способом представлена на рис. 147, *а*. На контрольную плиту *1* кладется точная плоскопараллельная пластинка *2*, на которую устанавливается аппарат *3* плоскостью *Е* рамки. На плоскость *А* фланца *21* помещается глубиномер *4*, осязатель *5* которого приводится в соприкосновение с плоскостью пластинки *2*, совпадающей с плоскостью *Е* рамки.

Глубиномер перемещается по фланцу в четырех направлениях. Отклонения стрелки глубиномера позволяют оценить непараллельность плоскостей *E* и *A*. Она исправляется прокладками *20* между фланцем *21* и корпусом *22* камеры (см. рис. 69, *а*).

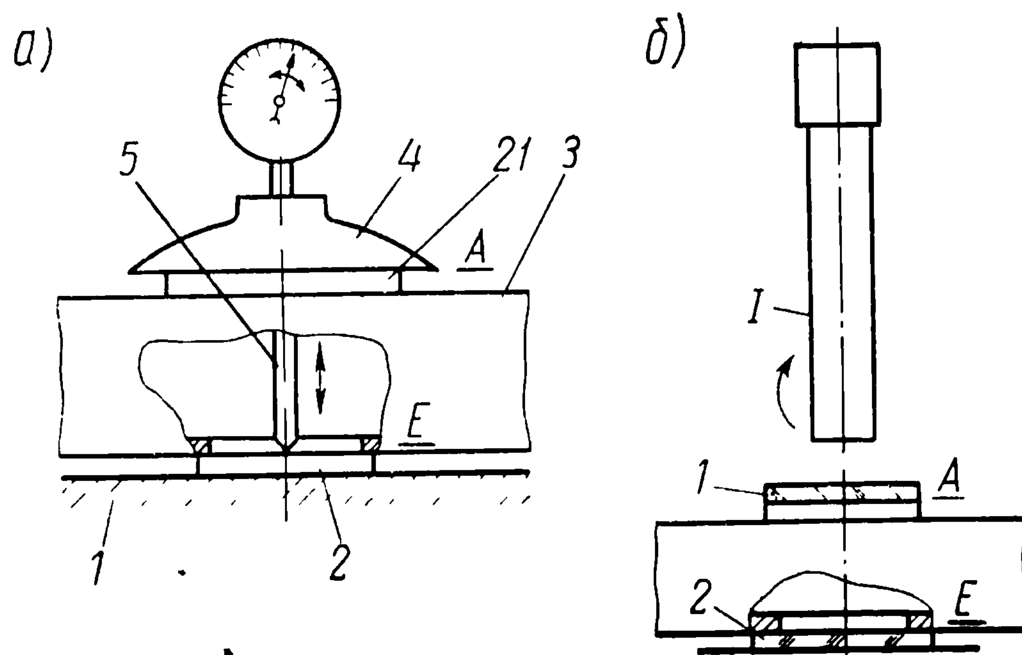


Рис. 147

На рис. 147, *б* показана схема контроля при помощи автоколлимационной трубки *I*, посредством которой наблюдают изображения от плоскостей стеклянных плоскопараллельных пластинок *1* и *2*. Подбором прокладки *20* добиваются совмещения автоколлимационных изображений от указанных пластинок.

Рассмотренная юстировка камеры выполняется для основного объектива аппарата. При наличии отступлений в размере *L* или перекосе фланцев других объективов они юстируются по основному объективу.

Сборка дальномера

Дальномер аппарата «Зоркий 2С» (см. рис. 69, *б*) является монокулярным с базой $B = 38 \pm 0{,}1$. Бо́льшее поле зрения *23* дальномера (см. рис. 69, *д*) обеспечивается размерами полусеребряного зеркала *24*. Меньшее внутреннее поле *25* осуществляется диафрагмой *26*, пропускающей лучи, отраженные призмой *27*. Изменение параллактического угла ε осуществляется поворотом призмы *27* относительно оси *28*. Движение призмы происходит вследствие поступательного перемещения (по стрелке *T*) торца *K* оправы *7* объектива при фокусировке его на объект *35* (см. рис. 69, *а*, *в*, *г*). Эксцентриковый кулачок *29* при помощи оси *30* поворачивает кулак *31* (см. рис. 69, *в*), который воздействует на оправу-рычаг *32* призмы *27* посредством винта *33*. Этот винт всегда поджат пружиной *34*. При правильно собранном дальномере совмещение изображений в обоих полях зрения дальномера (см. рис. 69, *д*) должно соответствовать правильному положению объектива от плоскости пленки (отрезок s')

для любого расстояния s до фотографируемого объекта *35* (см. рис. 69, *а*) в пределах дистанционной шкалы *3* объектива. В дальномере должны отсутствовать ошибка по высоте, т. е. вертикальное смещение одной части изображения относительно другой, и ошибка по дальности, т. е. несоответствие показаний дистанционной шкалы относительно истинного расстояния до объекта.

Сборка дальномера разделяется на предварительную и окончательную.

Предварительная сборка дальномера

Подгоняется и комплектуется узел эксцентрикового кулачка *29* (рис. 69, *б* и *г*). Собирается рычаг *32* с призмой *27* (рис. 69, *в*), которая приклеивается шеллачным клеем к корпусу *32* рычага. Рычаг с призмой надевается на ось *28* корпуса дальномера. Закрепляется рамка *36*, имеющая диафрагму *26*, которая определяет малое поле *25* зрения дальномера. Для правильной работы дальномера необходимо, чтобы диафрагма была всегда в центре поля зрения окуляра *37*. Регулирование положения диафрагмы осуществляется передвижениями рамки *36*. Поскольку при предварительной сборке дальномера окуляр его не установлен (он крепится при его окончательной сборке), к узлу дальномера присоединяется технологический окуляр *37*. Чтобы в процессе сборки не повредить отражающий слой зеркала *24*, в процессе предварительной сборки используется технологическое зеркало. Отрегулировав положение диафрагмы и зеркала, устанавливают конструктивное зеркало дальномера и закрепляют рамку *36* в корпусе дальномера.

Наводя дальномер последовательно на объекты, расположенные на расстоянии от 1 *м* до бесконечности, проверяют предварительно диапазон поворота рычага *32* с призмой *27*. При необходимости нужный диапазон обеспечивается разворотом призмы после нагрева места склейки. Ставят четыре винта *38* (см. вид по стрелке *Е*) и проверяют вращение рычага *32* с призмой. Устанавливают сборку эксцентрикового кулачка *29—30* на корпус дальномера и закрепляют его винтами *39* (см. рис. 69, *б*). Устанавливают пружину *34* (см. рис. 69, *в*).

Предварительная юстировка дальномера

Устанавливают дальномер *I* на оптическую скамью (рис. 148, *а*) перед коллиматором *II*, на сетке *1* которого нанесено перекрестие. При расстройстве дальномера по высоте горизонтальная нить *а* креста коллиматора в малом поле зрения не будет совпадать с горизонтальной нитью *б* в большом поле (рис. 148, *б*). Устранение ошибки достигается при помощи

четырех винтов *38* (см. рис. 69, вид по стрелке *Е*), которыми изменяется положение корпуса призмы относительно оси *28*. Одновременно устраняется наклон изображения. При расстройстве дальномера по д а л ь н о с т и в полях зрения дальномера будет наблюдаться несовпадение вертикальной нити (рис. 148, *в*). Устранение этой ошибки осуществляется перемещением винта *33* рычага *32* дальномера (см. рис. 69, *в*). Выверка производится для дистанций 1, 2, 4 *м* и бесконечность. Соответствующая сходимость лучей, выходящих из коллиматора, достигается сменой его объектива *2* на револьверном приспособлении (на рисунке не показано) (рис. 148, *а*) или осевым перемещением объектива относительно сетки (отрезок *X'*).

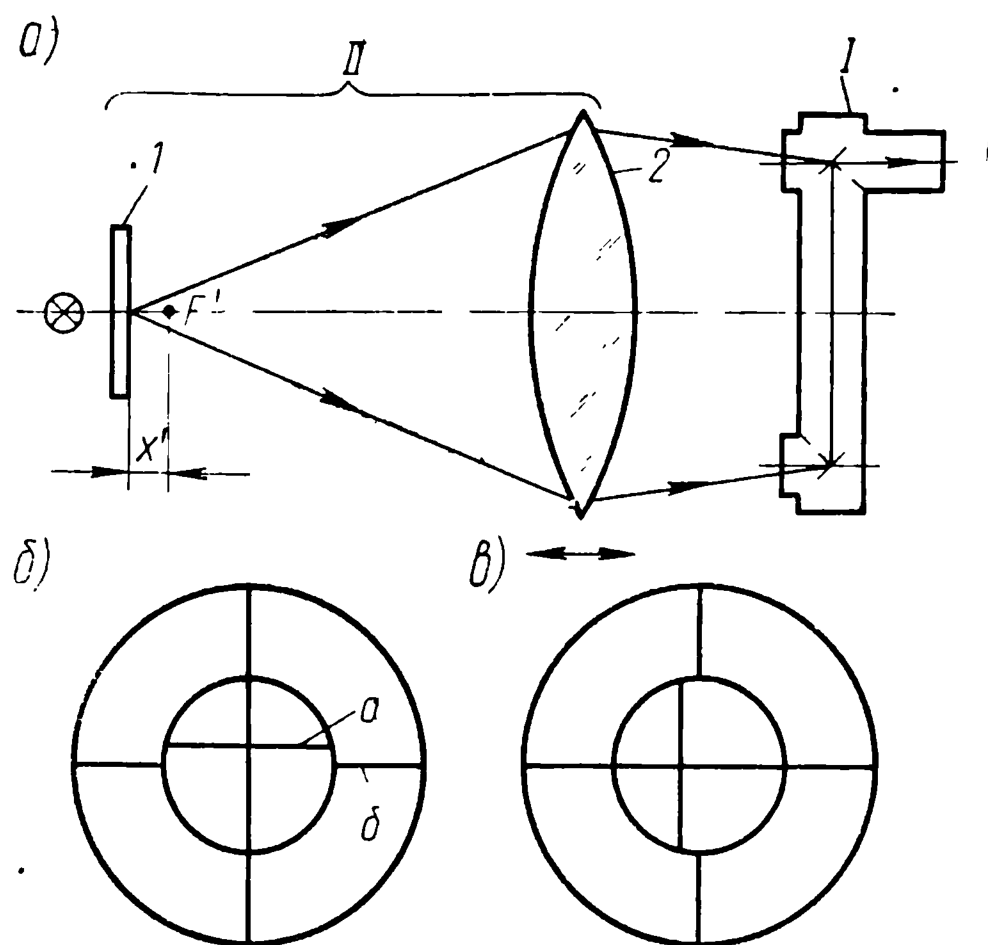


Рис. 148

Окончательная сборка и юстировка дальномера

Окончательная сборка и юстировка дальномера производится после установки предварительно собранного дальномера на крышке камеры. При этом весьма часто возникает прогиб крышки аппарата или корпуса дальномера. В обоих случаях возникают расстройства дальномера по дальности и высоте, которые необходимо устранить.

При окончательной сборке дальномера в его окнах устанавливаются выверочный клин *40* и защитное стекло *41* (см. рис. 69, *в*).

Окончательная юстировка дальномера должна устранить расстройство его по высоте и дальности при установке на бесконечность, 1, 2 и 4 *м*. Юстировка производится на установке, описанной выше (рис. 148, *а*). Устранение ошибки по высоте достигается поворотом выверочного клина *40*. Расстройство по дальности устраняется следующим образом. Вначале дальномер юстируется по дальности на бесконечность путем перемещения винта *33*. Далее выполняется юстировка на минимальную дистанцию — 1 *м* при помощи разворота кулачка *31*. Принципиально правильная юстировка дальномера на указанные крайние дистанции должна обеспечить правильную работу дальномера и на промежуточных дистанциях. Поэтому контроль

дальномера на дистанции 2 и 4 *м* проводится по существу как дополнительная проверка правильной юстировки его на бесконечность и 1 *м*.

В зеркальных фотоаппаратах типа «Зенит» дальномер отсутствует. При фокусировке объектива *1* (по стрелке *c*)

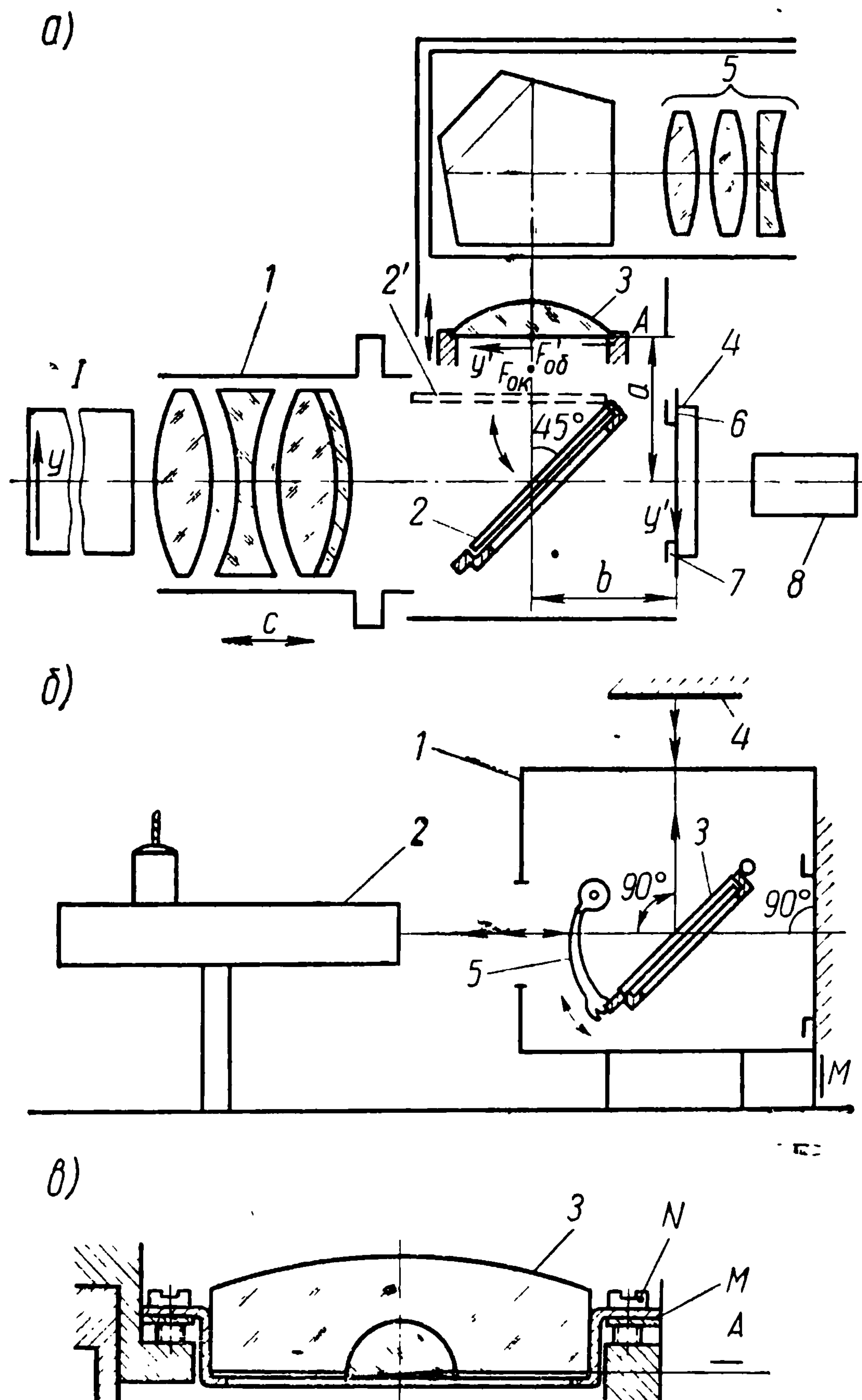


Рис. 149

(рис. 149, *а*) на объект *y* его изображение *y'* получается на матовой плоскости *А* коллективной линзы *3*, наблюдаемое в окуляр *5*. В момент съемки зеркало *2* переводится в положение *2'*, и изображение *y'* должно получаться на пленке *6*, так как расстояние *a* от зеркала до плоскости *А* линзы *3* равно расстоянию *b* от зеркала до пленки.

Объектив и окуляр образуют зрительную трубу с коллективом 3 и призмой; сборка и юстировка таких приборов уже рассмотрена (см. § 44).

Основными юстировками аппарата являются установка зеркала под углом 45° к оси визира и совмещение плоскости A коллектива 3 с задней фокальной плоскостью объектива при его установке на бесконечность по шкале дистанций.

Первая из этих юстировок выполняется на установке, схематично показанной на рис. 149, *б*. Камера *1*, без объектива и окулярной части, устанавливается перед автоколлиматором *2*, оптическая ось которого выставлена нормально опорной плоскости M, к которой прижимается камера плоскостью прикладной рамки. Лучи, идущие от автоколлиматора, образуют изображение креста сетки коллиматора, отразившись от зеркала *4* установки и дважды от зеркала *3* камеры; регулируя положение упора *5* зеркала, который прижимается к нему пружиной (на рисунке не показана), добиваются совмещения автоколлимационного изображения креста сетки коллиматора с самим крестом; при этом зеркало *3* займет правильное положение.

Собирают камеру с объективом (который устанавливается на бесконечность по его шкале) и окуляром с призмой. Наблюдая в окуляр изображение y' сетки y коллиматора *I* (рис. 149, *а*), юстируют линзу *3* с оправой M при помощи специальных винтов N (рис. 149, *в*), позволяющих перемещать оправу с линзой в вертикальном направлении и наклонять ее до совмещения изображения y' с плоскостью A линзы.

Узел устанавливается так, что при правильном положении линзы *3* задний фокус объектива совмещается с плоскостью A линзы. Окуляр выставляется в нулевое положение с обеспечением расходимости лучей порядка ≈ -1 диоптрии (подробно см. § 28). Допустимый параллакс матовой поверхности линзы *3* и изображения y' имеет порядок 0,03 *мм*. Перекос этих плоскостей $\approx 4'$.

В ряде современных фотоаппаратов, например «Лада», «Зенит-4», имеется встроенный экспонометр, позволяющий производить полуавтоматическую установку нужной диафрагмы. Принцип юстировки такого устройства рассмотрен ниже применительно к киносъемочному аппарату «Кварц-3».

Контроль работы затвора

Эта операция производится на приборе, схема которого представлена на рис. 150.

Корпус *2* затвора со шторкой *3* устанавливается на прибор, основными узлами которого являются осветитель *1*, щель *4*, объектив *6*, револьвер со сменными светофильтрами *5*, фотоэлемент *7*, гальванометр *8*. Задавая определенную выдержку

времени открытия затвора, освещают щель в шторке, пропуская лучи света через объектив прибора на фотоэлемент. Отклонения стрелки гальванометра пропорциональны световому потоку, пропущенному шторкой, и показывают отступление освещенности от эталонной; шкала проградуирована в процентах ошибки экспозиции. Чтобы один и тот же участок шкалы гальванометра мог быть использован для различных выдержек, в ход лучей системы включаются светофильтры разной кратности, приводящие показания гальванометра к эталонному, так как количество световой энергии, падающей на фотоэлемент, всегда остается постоянным. Регулировка времени открытия шторки достигается изменением натяжения пружины ведомого валика шторки.

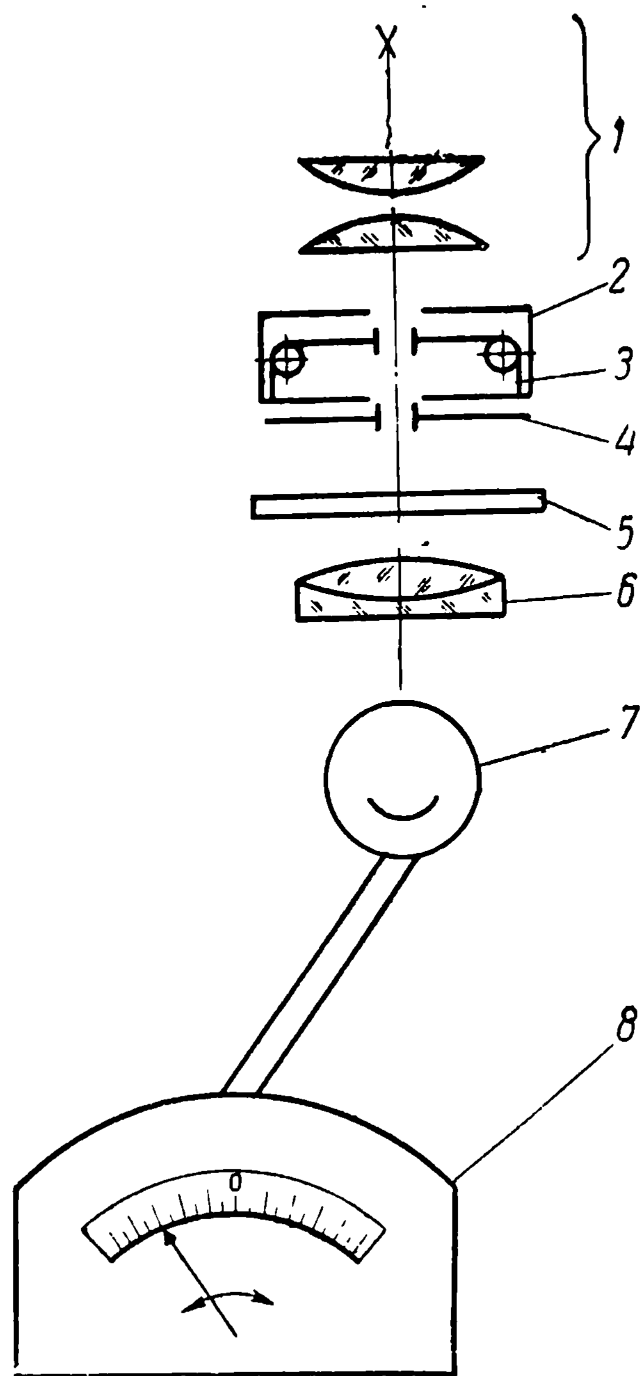


Рис. 150

Испытание фотоаппарата на качество изображения производится путем фотографирования миры на расстояниях, установленных в технических условиях при определенной выдержке и диафрагме. Например, для аппарата «Зоркий-2С» фотографирование производится при диафрагме 3,5 с выдержкой 1/25 на расстояниях 1 *м* и бесконечность. Обычно делается по 2 снимка.

§ 51. Киносъемочные аппараты

Юстировка киносъемочных аппаратов в известной степени сходна с аналогичным процессом производства фотоаппаратов. Как и в последних, основная задача оптической юстировки съемочных аппаратов заключается в согласовании рабочего отрезка объектива с рабочим отрезком камеры, при которых плоскость изображения объектива совмещается с плоскостью пленки.

Одной из важнейших задач механической сборки является отладка грейферного механизма, который должен обеспечить плавное непрерывное движение пленки в фильмовом канале без заеданий и колебаний по вертикали и горизонтали. Степень такой отладки характеризует свойство аппарата, называемое «стоянием». Должна быть обеспечена согласованная работа обтюратора, открывающего пленку, и грейферного механизма, а также заданные скорости движения пленки.

На рис. 151, *а* схематично показано взаимное положение объектива *1*, обтюратора *2* и фильмового канала киносъемочного аппарата «Кварц-1». Пружина *4* прижимает планку *А* канала к пленке *5*. Обтюратор устанавливается по разметке и в осевом направлении не регулируется. Рабочий отрезок *L* камеры предварительно проверяется индикатором от плоскости *N* фланца *В* камеры, на который ставится объектив до фильмового канала камеры. Окончательный размер L_1 рабочего отрезка камеры обеспечивается при установке объектива в камеру за счет изменения толщины Δ прокладки *6*, помещенной между

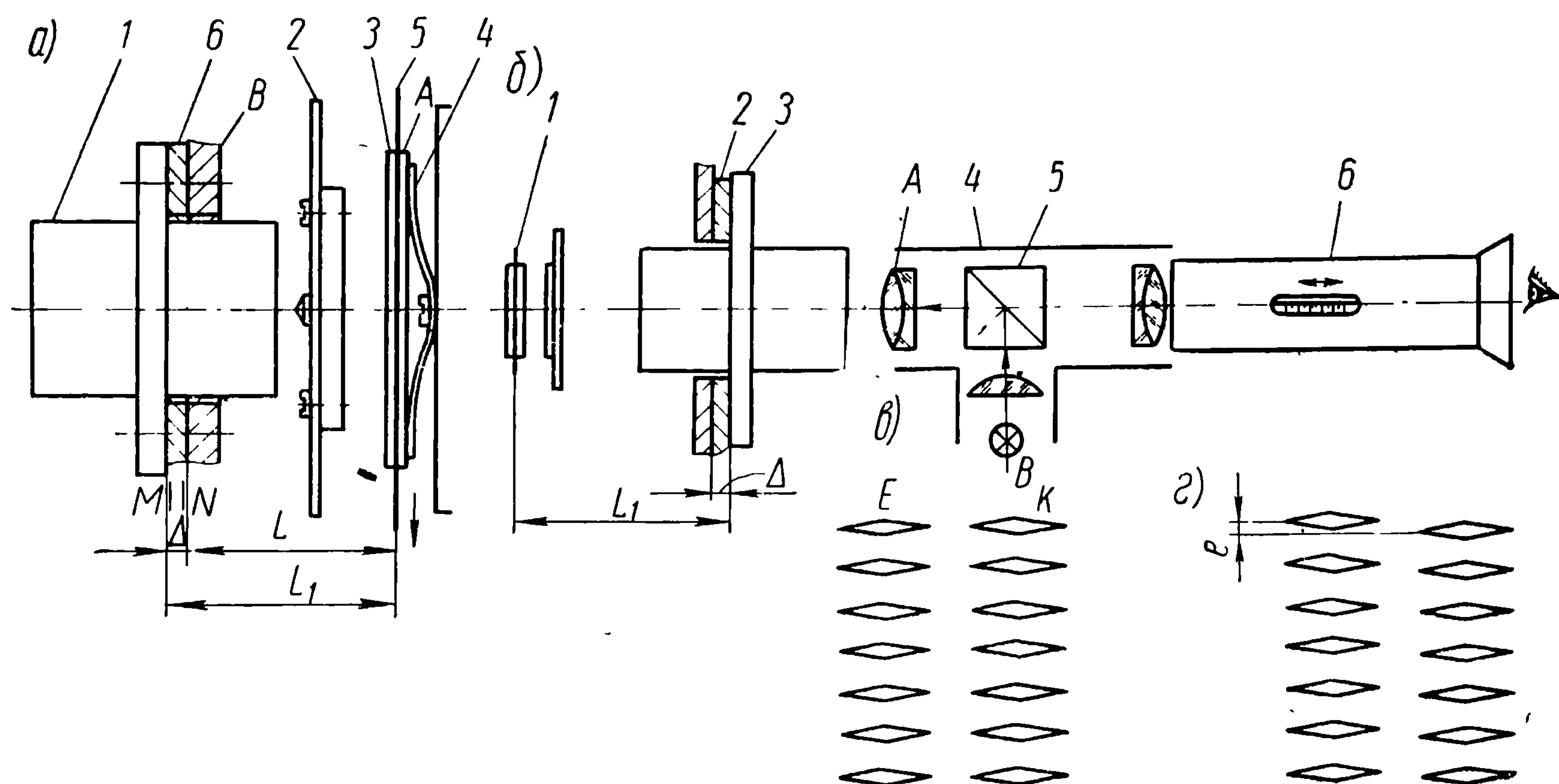


Рис. 151

плоскостью *N* фланца камеры и плоскостью *М* фланца объектива. Как правило, толщина Δ прокладки достаточно велика и позволяет выдерживать размер *L* путем ее подрезки.

Правильное положение объектива относительно плоскости пленки устанавливается на приспособлении, показанном на рис. 151, *б*. Камера с пленкой *1* в фильмовом канале, объективом *3* и прокладкой *2* закрепляется на штативе (на рис. 151, *б* не показан). Перед объективом установлена автоколлимационная трубка *4*. Объектив *А* трубки направляет лучи света от лампочки *В* в объектив *3* посредством кубика *5* и освещает пленку, позволяя видеть в прямом ходе лучей через диоптрийную трубку *6* зерна пленки с некоторым увеличением. При правильном размере L_1 рабочего отрезка камеры отсчет по шкале диоптрийной трубки должен быть при этом равен нулю.

Структура пленки должна быть видна резко. Практически это достигается путем смещения объектива диоптрийной трубки на некоторую величину, которая позволяет определить в линейной мере величину изменения толщины Δ прокладки *2*. Обычно делается три отсчета, по которым берется среднее арифметиче-

ское значение нужного размера. После этого объектив *3* закрепляется в корпусе камеры. Окончательный контроль правильного положения объектива достигается путем фотографирования сложной миры, а также оценки разрешающей силы и качества изображения в центре и на краях поля.

Проверка «стояния» пленки выполняется также фотографированием миры, имеющей два ряда штрихов (рис. 151, *в*). Штрихи этих рядов совпадают. Закрыв один из рядов (например, *К*), фотографируют другой ряд (например, *Е*); перемотав пленку, снимают другой ряд *К*, закрыв первый. Величина «стояния»

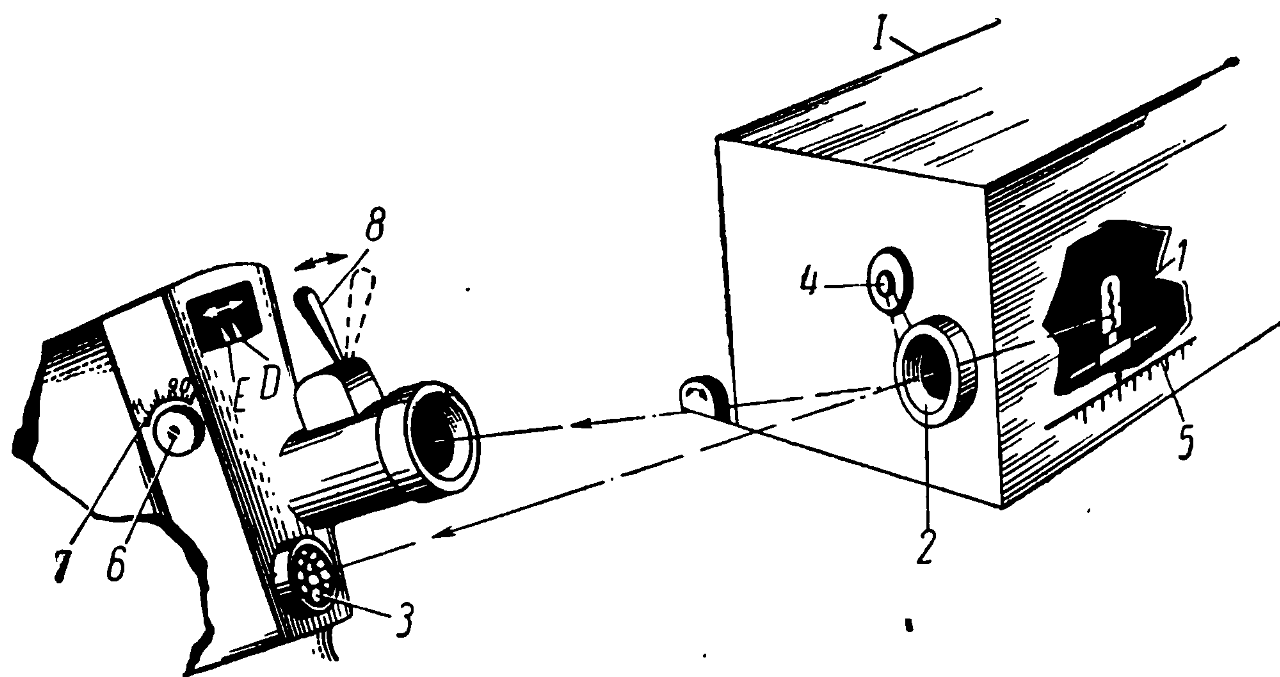


Рис. 152

оценивается по смещению *е* сфотографированных систем штрихов (рис. 151, *г*).

Юстировка аппарата «К в а р ц-3» несколько сложнее, что объясняется его усовершенствованной конструкцией (рис. 152). Аппарат имеет объектив с переменным фокусным расстоянием (см. § 38, рис. 106), позволяющим непрерывно менять масштаб съемки. Это достигается рукояткой *8* путем передвижения компонентов *К* объектива относительно неподвижных его компонентов *А*, *В*, *С* и *Е* (рис. 106); относительное отверстие объектива при этом остается постоянным, соответствуя числу, которое установлено на шкале диафрагмы.

Визир (рис. 153) аппарата имеет также переменное увеличение, осуществляемое перемещением отрицательного компонента *2* в оправке *1* по отношению к неподвижному компоненту *3* и окуляру *4*. Это движение совершается по направляющим *5* при помощи нити *6*, связанной с компонентами *К* объектива (см. рис. 106); компонент *2* при перемещении преодолевает постоянное сопротивление пружины *7*.

Аппарат имеет э к с п о н о м е т р, при помощи которого производится полуавтоматическая установка диафрагмы объектива при съемке. Это достигается кинематической связью диафраг-

мы *2* объектива (рис. 154) и диафрагмы *1* фотоэлемента экспонометра. Диафрагмирование объектива при съемке производится посредством рычажка *3* до тех пор, пока в поле зрения ви-

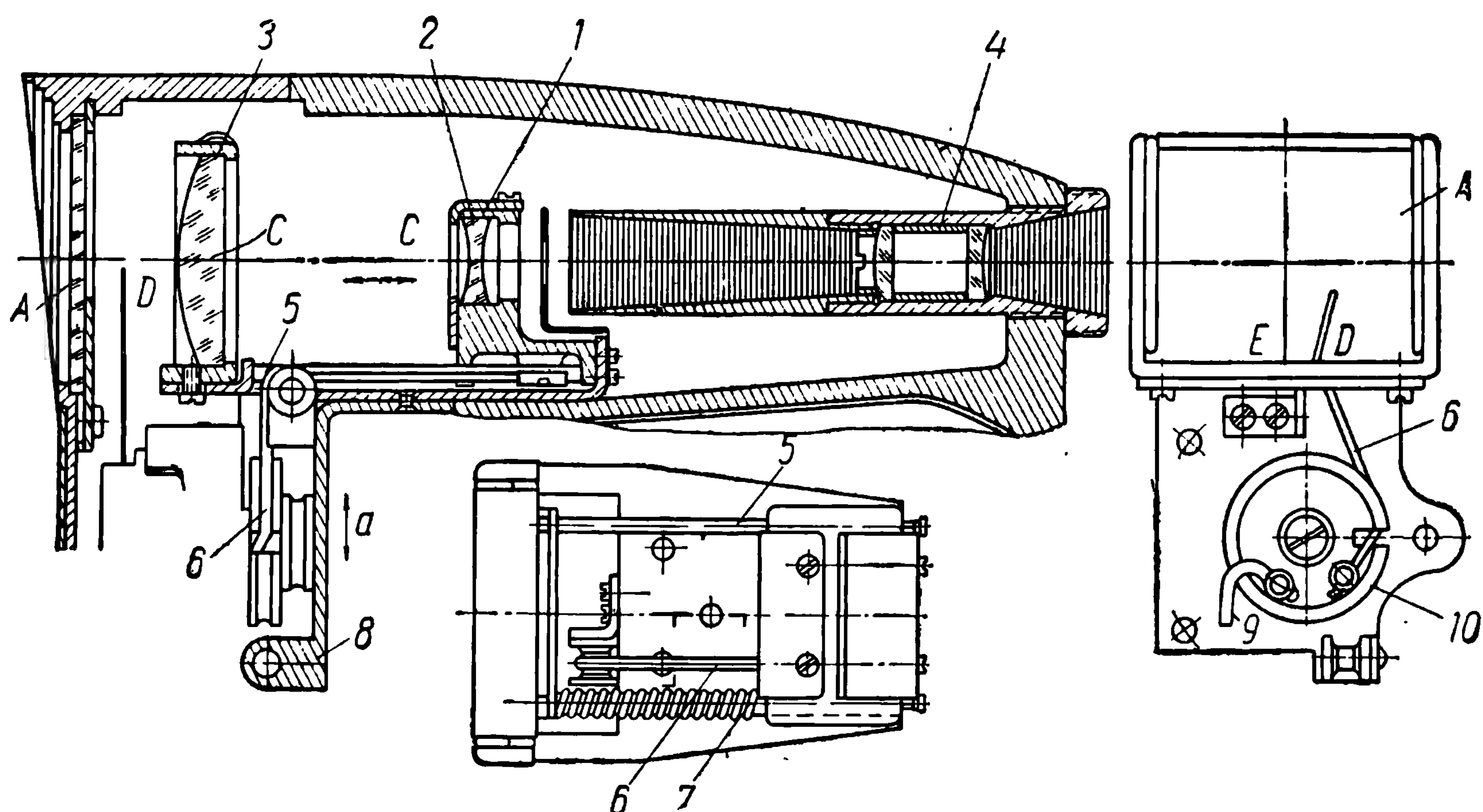


Рис. 153

зира стрелка *D* гальванометра *4* не совместится с индексом *E*, нанесенным на защитном стекле *A* визира (см. рис. 153); отклонение стрелки *D* соответствует степени освещенности объектива. Учет чувствительности пленки осуществляется поворотом гальванометра (по стрелке *a*) в оправе *5*, т. е. установкой исходного положения стрелки *D* гальванометра для данной пленки. Этот поворот достигается при помощи рукоятки *6* (рис. 154), кулака *8* и передач *9* по шкале *7* чувствительности пленки.

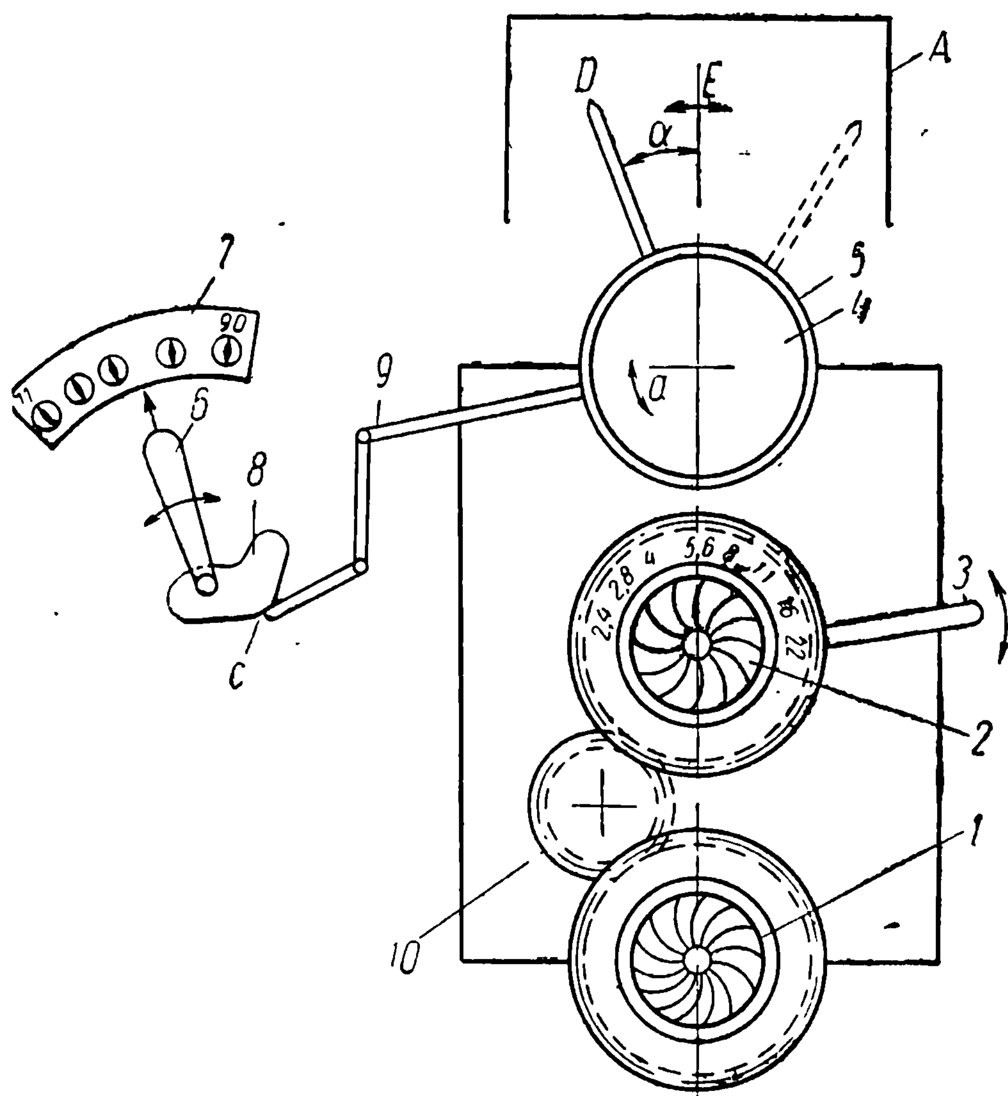


Рис. 154

К характерным юстировкам аппарата относятся: 1) обеспечение параллельности оптической оси визира оси объектива; 2) достижение равенства угла поля зрения визира углу поля объектива; 3) юстировка узла полуавтоматического диафрагмирования объектива.

Контроль параллельности оптических осей *OO* объектива и *CC* визира выполняется при помощи коллиматоров *I* и *II* (рис. 155), оси которых с помощью призмы *1* коллиматора *II* параллельны друг другу.

Испытуемый прибор помещается на столике *2*. Перед фильмовым каналом *3* устанавливается визир *4*, сетка которого *T*

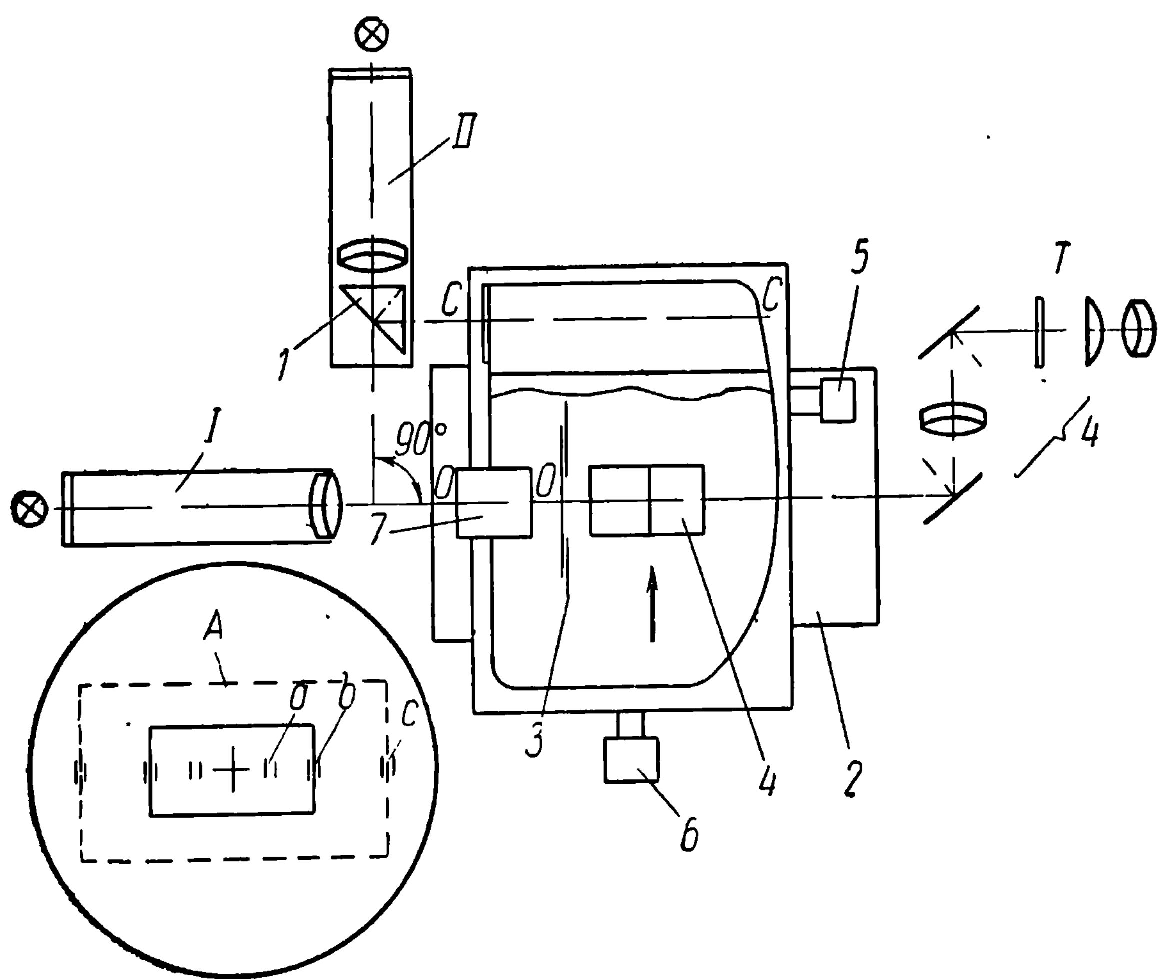


Рис. 155

имеет перекрестие. Посредством рукояток *5* и *6* стол *2* регулируется так, чтобы ось коллиматора *I* была параллельна оси *OO* объектива *7* аппарата. При этом изображение креста сетки коллиматора *I* должно совпадать с перекрестием сетки *T* визира *4*. Наблюдая в визир прибора, оценивают степень непараллельности осей *OO* и *CC*, как это делается при контроле параллельности осей биноклей и бинокулярных микроскопов (см. § 48 и 49)

Контроль ведется для трех значений фокусного расстояния объектива (36, 18 и 9 *мм*) по трем допусковым полям *a*, *b* и *c* (рис. 155). Если непараллельность осей выходит из допуска, то юстируют положение оси *CC* визира путем вертикальных перемещений (по стрелке *a*) и наклонов кронштейна *8* визира и боковым смещениям компонента *3* в его оправе (рис. 153).

При помощи допусковых полей сетки коллиматора (рис. 155) проверяется **величина поля зрения визира** также для трех значений фокусного расстояния объектива. Величина поля определяется по прямоугольному контуру *A*. Юстировка поля зрения достигается изменением длины нити *6*, перемещающей компонент *2* визира, и нити *9*, связывающей посредством дис-

ка *10* (рис. 153) эту нить с перемещающимся компонентом *К* объектива аппарата (см. рис. 106) и компонентом *2* визира.

Юстировка узла диафрагмирования объектива заключается в следующих операциях: 1) установке нулевого положения гальванометра *4* и оправе *5* (рис. 154); 2) согласовании диафрагм фотоэлемента и объектива; 3) согласовании шкалы *7* чувствительностей пленки с положением гальванометра в оправе *5*.

Первая юстировка выполняется для того, чтобы обеспечить необходимый диапазон колебания нити *D* гальванометра относительно неподвижного индекса *E* на защитном стекле визира. Гальванометр поворачивается так, чтобы его стрелка составила некоторый угол α по отношению к индексу, составляющий половину угла колебания стрелки (рис. 154). Этот поворот гальванометра выполняется либо по шкале, помещаемой в плоскости защитного стекла *A* (см. рис. 153), либо при помощи специального приспособления.

Вторая юстировка осуществляется на специальной осветительной установке *I* (см. рис. 152). При помощи лампы *1* на экране *2* достигается определенная освещенность. Установив аппарат перед установкой так, чтобы на его фотоэлемент *3* падал свет от экрана, добиваются перестановкой шестерни *10* (рис. 154) и регулировкой диафрагмы фотоэлемента равенства открытия диафрагм объектива и фотоэлемента; при этом стрелка *D* гальванометра должна совпадать с индексом *E*.

Важной юстировкой является согласование шкалы чувствительности пленки с положением гальванометра. Сущность юстировки заключается в том, что при установке ручки *6* на определенную чувствительность по шкале *7* (рис. 154) (шкала задается в условных единицах ГОСТа) гальванометр поворачивается на определенный угол, задавая, таким образом, исходное положение стрелки *D* для данной пленки. Установив по шкале *7* положение рукоятки *6*, посредством кулака *8* и передачи *9* осуществляют поворот гальванометра *4* в оправе *5* (рис. 154). Перемещением лампы *1* перед светофильтром, включаемым с помощью револьверного устройства *4*, добиваются на экране *2* освещенности, соответствующей заданной чувствительности пленки (см. рис. 152). Это значение прочитывается по шкале *5* прибора *I*. Если прибор юстирован правильно, то стрелка *D* гальванометра будет совпадать с неподвижным индексом *E*. При несовпадении этих стрелок юстировку выполняют подпиливанием кулачка *8* в определенном месте с рис. 154.

Аналогичную юстировку проводят для всех точек шкалы *7*. При проведении указанных юстировок объектив закрывается заглушкой.

Представляет интерес проверить совместную работу объек-

тива и экспонометра. Для этой цели аппарат устанавливают перед осветительной установкой *I*. Лампочка *1* посредством включенного вместо светофильтра экрана *2* освещает одновременно объектив аппарата и фотоэлемент *3* (см. рис. 152). Устанавливают рычагом *6* по шкале *7* чувствительность пленки, а на осветительном приборе нужную яркость экрана; при правильно отъюстированном приборе стрелка гальванометра должна совпасть с неподвижным индексом. При невыполнении этого условия юстируют диафрагму *2* фотоэлемента (рис. 154).

§ 52. Простейшие проекционные приборы

К простейшим проекционным приборам относятся широко распространенные эпи- и диаскопические приборы различных конструкций. Они должны обеспечивать на экране хорошее качество изображения проектируемого объекта в нужном масштабе, на заданном расстоянии от прибора и с достаточной освещенностью, равномерной по всему полю. Выполнение этих требований зависит главным образом от качества проекционного объектива и осветительной системы.

В процессе сборки следует обеспечить в основном ц е н т р и р о в к у объектива, конденсора и источника света и правильное их взаимное положение относительно проектируемого объекта.

К приборам такого типа относятся и проекционные контрольно-измерительные приборы, которые позволяют сравнивать на экране изображение контуров контролируемого объекта с эталонным контуром, нанесенном на экране. Величина отклонений параметров контролируемой детали определяется в этом случае или по полю допуска, изображенного на экране, или при помощи оценки перемещения стола, на котором закреплена деталь.

На рис. 156, *а* показана оптическая схема одного из распространенных проекторов для работы в проходящем свете (диапроекция). Оптическая система состоит из лампы *1*, постоянного конденсора *2*, теплофильтра *3*, сменного (при изменении увеличения) конденсора *4*, зеркала *5*, предметного стекла *6*, зеркала *7*, проекционного объектива *8*, призмы или зеркала *9*, зеркала *10* и экрана *11*. Объектив 8-сменный. Ирисовая диафрагма *А* установлена в сменных конденсорах.

Основная задача юстировки такого прибора заключается в обеспечении теневого изображения контура детали с резкими краями, подобного объекту в нужном масштабе, равномерно контрастного в пределах поля зрения. Прежде всего юстируется осветительная часть прибора. Лампу *1* с конденсором *3* перемещают вдоль оси (по стрелке *а*) до совмещения изображения нитей лампы с плоскостью диафрагмы *А* (рис. 156, *а*). Зафиксировав это положение корпуса лампы винтом *, добиваются рав-

* На рис. 156 не показан.

номерного освещения поля зрения, центрируя лампу тремя винтами *12*; на рис. 156, *а* изображение нитей лампы должно совпадать с центром диафрагмы *А*.

Осевым перемещением объектива *8* в оправе *Е* (по стрелке *б*) добиваются резкого изображения объекта на экране.

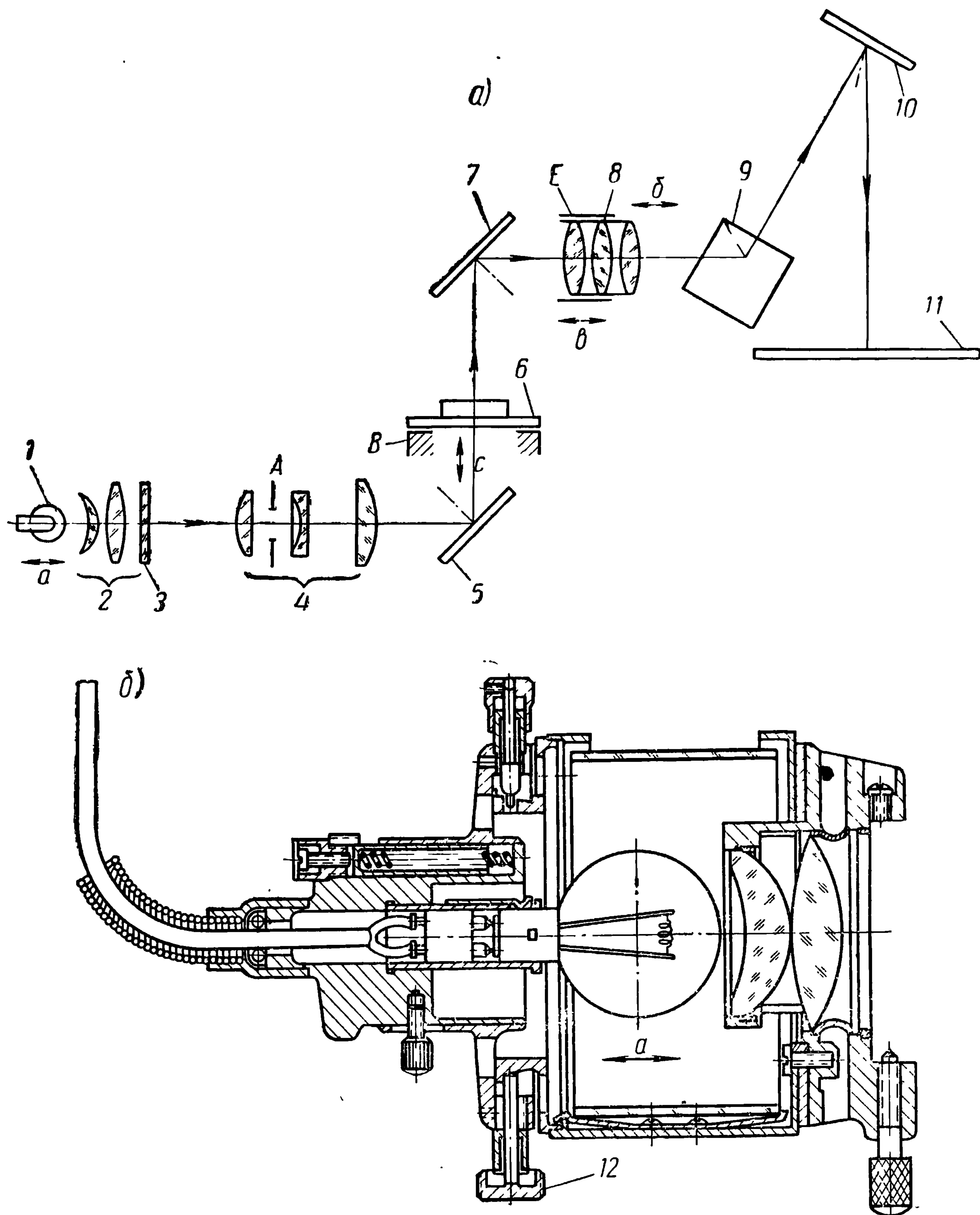


Рис. 156

Поперечное увеличение изображения (масштаб) контролируется для всех сменных объективов *8*. Доводка увеличения до нужного значения достигается путем перемещения объектива *8*

относительно оправы *E* (по стрелке *в*) при установке соответствующего сменного конденсора *4* (рис. 156, *а*).

Для оценки величин отклонения изображения от эталонного стол *B*, на котором закреплено предметное стекло *6*, имеет взаимно перпендикулярные перемещения, величины которых отсчитываются при помощи микрометренных винтов (см. § 47, рис. 131, *в*). Для нормальной работы прибора эти движения стола должны быть отъюстированы (см. § 47).

Экран *11* с эталонным контуром должен быть установлен в соответствии с перемещениями стола. Для этой цели на экране вычерчивают координатные оси. Экран разворачивают так, чтобы движения стола были параллельны координатным осям. Это достигается при помощи линейки, закрепленной на предметном стекле так, чтобы ребро линейки было параллельно ходу стола.

Для фокусировки изображения объектов на экран стол *B* с предметным стеклом *6* имеет вертикальное перемещение (по стрелке *с*). Вертикальность движения должна обеспечиваться с точностью порядка 30″ при помощи подгонки элементов механизма.

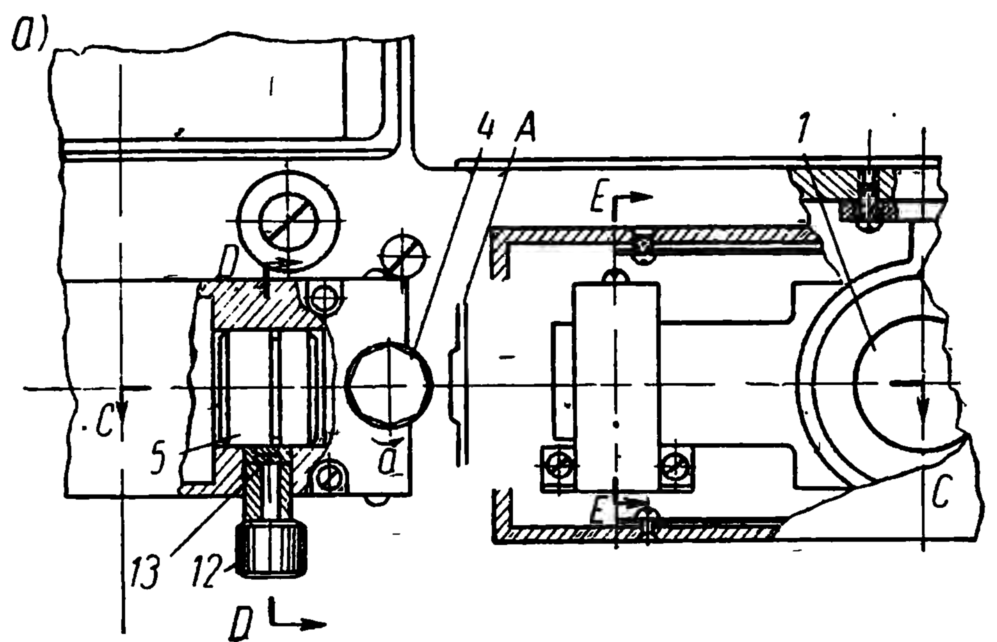
Юстировка кинопроекционных аппаратов осложняется движением пленки. Здесь, как и в киносъемочных приборах, необходимо обеспечить определенное «стояние» изображения фильма на экране. В качестве примера сборки таких приборов рассматриваются основные юстировки любительской кинопроекционной установки, конструкция которой представлена на рис. 157.

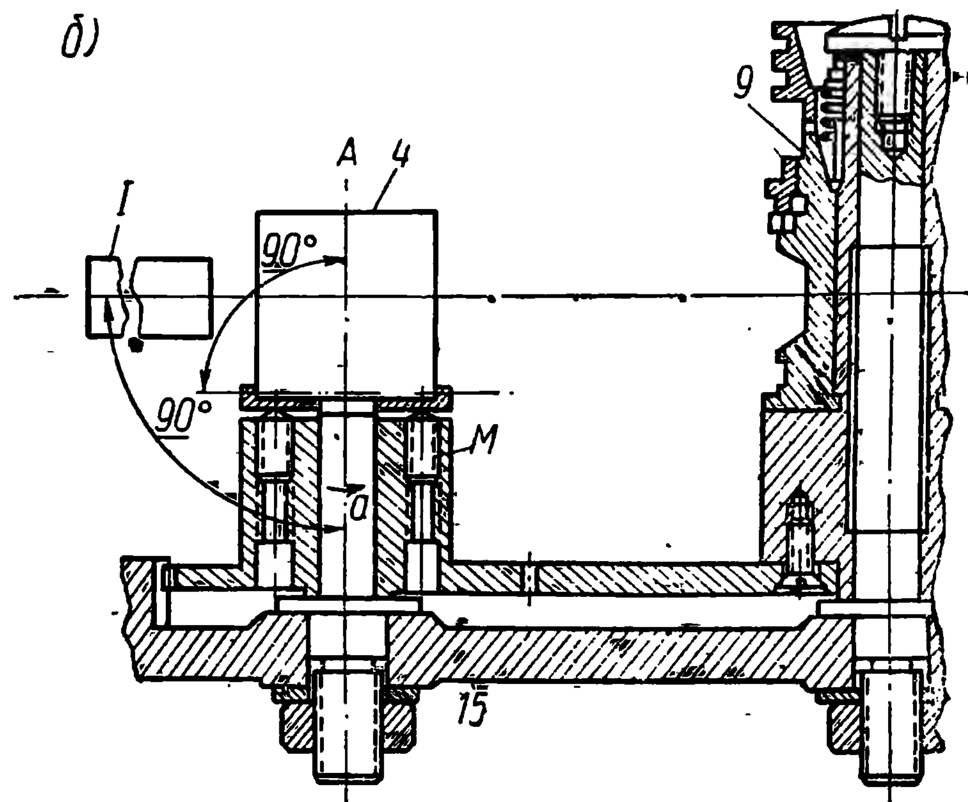
Фильм *A* (рис. 157, *а* и разрез по *CC*) освещается при помощи лампы *1* и конденсора *2*. Объектив в оправе *5* проектирует посредством зеркал *6* и *7* изображение фильма на экран (на рис. 157 не показан).

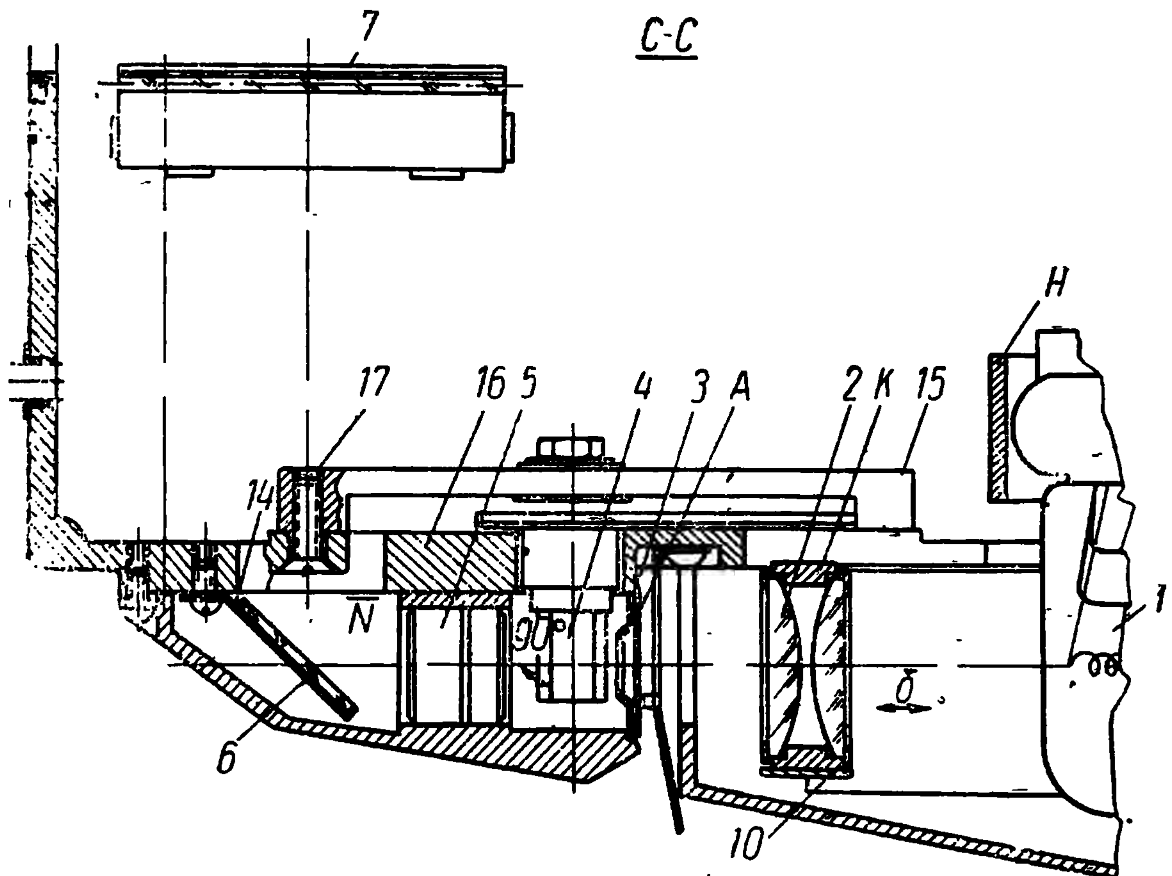
Обтюратором прибора является восьмигранная призма *4* (рис. 157, *а* и разрез по *CC*), вращающаяся (по стрелке *а*) от специального привода *9* (рис. 157, *б*). Часть граней призмы прозрачны и пропускают свет в объектив в положении, когда обтюратор должен быть открыт. В положении, при котором обтюратор не должен пропускать свет в объектив, перед ним оказываются непрозрачные грани призмы.

Важной юстировкой прибора является центрировка объектива *5*, конденсора *2* и лампы *1*.

Совместная центрировка оправы *5* объектива и оправы *18* конденсора (сечения по *DD* и *EE*) обеспечивается при сборке с приспособлением *G* (рис. 157, *в*). Фланец *C* приспособления фиксирует ось *OO* втулок *T* и *E* относительно посадочной плоскости *N* стенки *16* корпуса прибора (рис. 157, сечение по *CC*). Оправы объектива и конденсора надеваются на втулки *T* и *E* и крепятся в таком положении к стенке *16* корпуса. После крепления объектива и конденсора в их оправах лампа *1* центри-


а)
4 A
1
E
5
a
C
13 12
D


б)
A 4
I
90°
90°
M
a
9
15
B


C-C
7
H
17
16 5
4 3 A
2 K 15
14
N
90°
δ
1
6
10

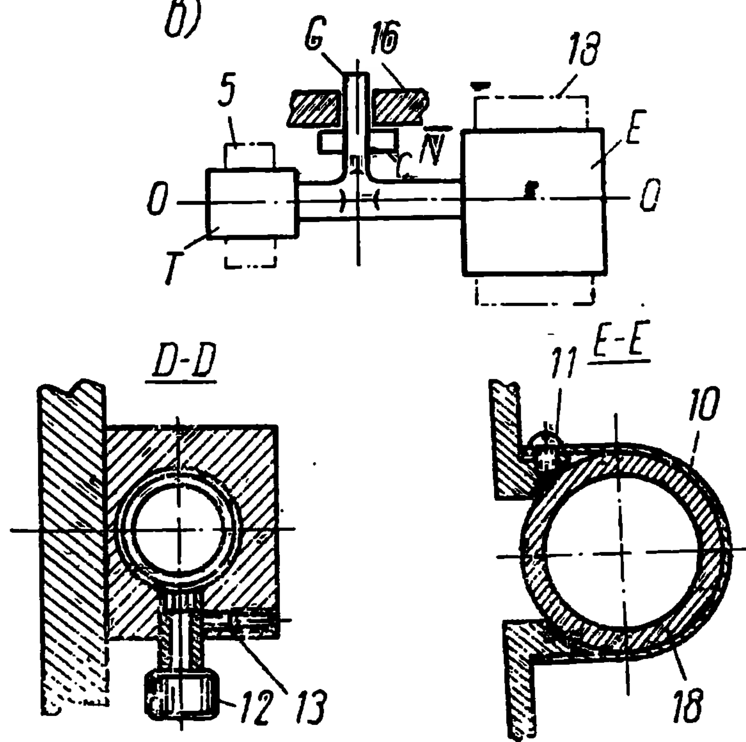

в)
G 16
5
18
N
E
O
O
T
D-D
12 13
E-E
11
10
18

Рис. 157

руется относительно этих компонентов наклонами и перемещением в корпусе *H* (рис. 157, сечение *CC*).

Фокусировка конденсора (по стрелке *б*) для освещения пленки *A* осуществляется перемещением оправы *18* в кожухе *10* (сечение по *EE*) при ослабленных винтах *11*. Окончательная юстировка положения объектива относительно экрана и фильма выполняется смещением объектива путем вращения рукоятки *12* эксцентрика, палец *13* которого входит в винтовую канавку на оправе *5* объектива (сечение по *DD*).

Правильное расположение изображения фильма на экране без наклона достигается незначительными поворотами зеркал *6* и *7* в оправах *14*. Ответственным узлом прибора является обтюратор *4*. Скорость его вращения должна быть согласована со скоростью движения пленки. Необходима строгая перпендикулярность рабочих граней призмы *4* оси объектива, так как наклон граней приведет к уводу изображения (см. § 11) фильма от оси объектива и ухудшит «стояние» изображения фильма.

Данная юстировка достигается при помощи автоколлимационной трубки *I* (рис. 157, *б*), выставленной нормально оси *AB* вращения призмы. Регулировка положения призмы производится винтами *M*. Юстировка эта выполняется до установки узла призмы в прибор. Кронштейн *15* этого узла крепится в корпусе *16* прибора винтами *17* (рис. 157, сечение по *CC*). Крепление узла призмы в корпусе должно обеспечивать перпендикулярность оси объектива граням призмы. Качество стояния изображения фильма зависит также от тщательности механической сборки узла перемотки фильма.

Глава IX

СБОРКА И ЮСТИРОВКА ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

§ 53. Поляризационные приборы

Основные сведения

Типовыми деталями приборов данной группы являются поляризатор и анализатор. В настоящее время эти детали представляют собой обычно поляроидную пленку, заклеенную между двумя плоскопараллельными защитными стеклами, закрепленными в оправе.

В некоторых приборах для получения дополнительной разности хода лучей $\left(\text{обычно } \frac{\lambda}{4}\right)$ и деления поля зрения на различные зоны применяется кварцевая пластинка *5* (рис. 158). В первом случае пластинка имеет форму круга; во втором — прямоугольника (рис. 159, *б*). Пластинка должна быть приклеена симметрично относительно центра оправы. Плоскости *А* пластинки должны быть параллельны соответствующей плоскости ее оправы (рис. 158).

Основная задача юстировки приборов заключается в обеспечении заданных углов между плоскостями поляризации анализатора, поляризатора и кварцевой пластинки. Если поворот анализатора связан с отсчетом по шкале, то необходима согласованность нулевого положения прибора (поляризатора и анализатора) с нулем этой шкалы.

Необходимо высокое качество поляроидной пленки и тщательное ее приклеивание к защитным стеклам без расклеек (пузырьков воздуха). В оптических деталях прибора не должно быть натяжений, приводящих к дополнительной разнице хода лучей. Чистота поверхностей оптических деталей должна быть не ниже VI класса.

В поле зрения не должны наблюдаться блики. Освещение поля зрения должно быть равномерным.

Полярископ ПСК-500

Рассматриваемый прибор (рис. 158) относится к числу простейших. Он предназначается для определения двойного лучепреломления в прозрачных деталях.

Принцип действия прибора основан на интерференции обыкновенных и необыкновенных лучей, возникающих вследствие натяжений в образце после прохождения через него плоскополяризованного света. Поляризация света достигается поляризатором *4*. Плоскости колебаний обыкновенных и необыкновенных лучей взаимно перпендикулярны и сдвинуты по фазе. Анализатором *9* эти лучи приводятся в одну плоскость, и наблюдатель видит через анализатор интерференционную картину, цвет и яркость которой зависят от степени натяжений в образце.

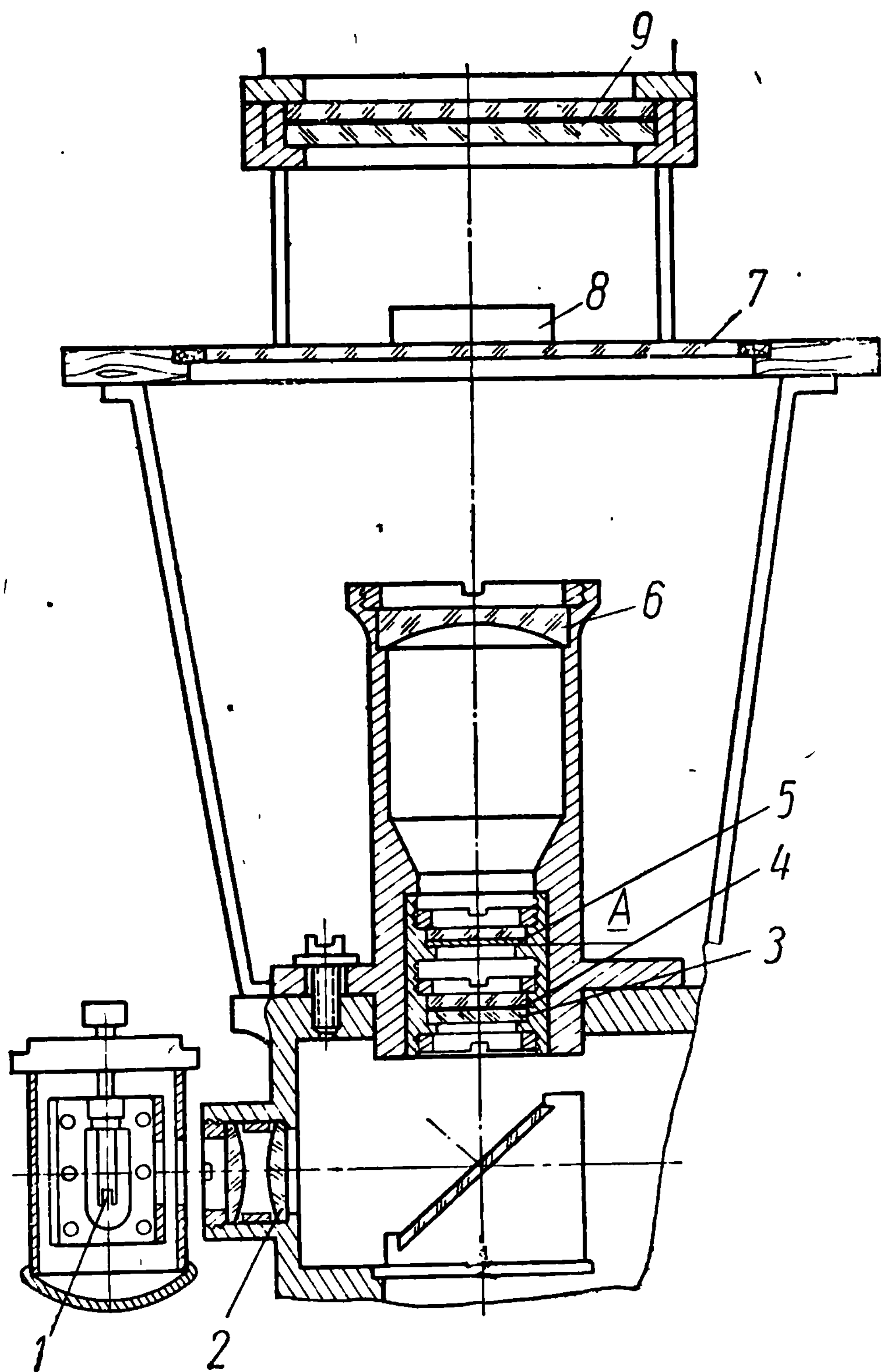


Рис. 158

Интерференционные цвета наблюдаются только при разности хода от 200 до 300 *ммк*. При меньшей разности хода в прибор вводится кварцевая пластинка *5*, которая задает дополнительную разность фаз. Образец *8* кладется на матовое стекло *7*, освещаемое поляризованным светом при помощи рассеивающей линзы *6*.

Юстировка прибора должна обеспечить прежде всего равномерность освещения матового стекла. Это достигается регулировкой лампы *1* осветителя (подъемом ее по высоте, поворотами вокруг вертикальной оси и смещением вдоль оси конденсора *2*) так, чтобы светящаяся плоскость нитей накаливания проходила через ось конденсора. Юстировка поляризатора и анализатора заключается в развороте их так, чтобы плоскости поляризации в исходном положении были взаимно перпендикулярны. В этом случае в поле зрения видно интерференционное перекрестие с углом между ветвями около 90°.

Кварцевую пластинку юстируют относительно поляризатора, разворачивая относительно его так, чтобы их плоскости поляризации составляли угол в 45°. При таком положении поле зрения окрашено в пурпурно-фиолетовый цвет. Неоднородность

окраски оценивается методом сравнения с окраской поля эталонного прибора. Если юстировка не удается, то следует заменить анализатор и после этого повторить юстировку анализатора и поляризатора.

Поляриметр П-161

Прибор предназначен для измерения угла вращения плоскости поляризации однородными жидкостями и оптически активными прозрачными растворами. Поляриметр П-161 (рис. 159, *а*) имеет осветительное зеркало *1*, оранжевый светофильтр *2*, поляризатор *3*, кварцевую пластинку *4*, защитное стекло *5*, анализатор *6*, объектив *7* и окуляр *8*. Детали *2*, *3*, *4* и *5* крепятся

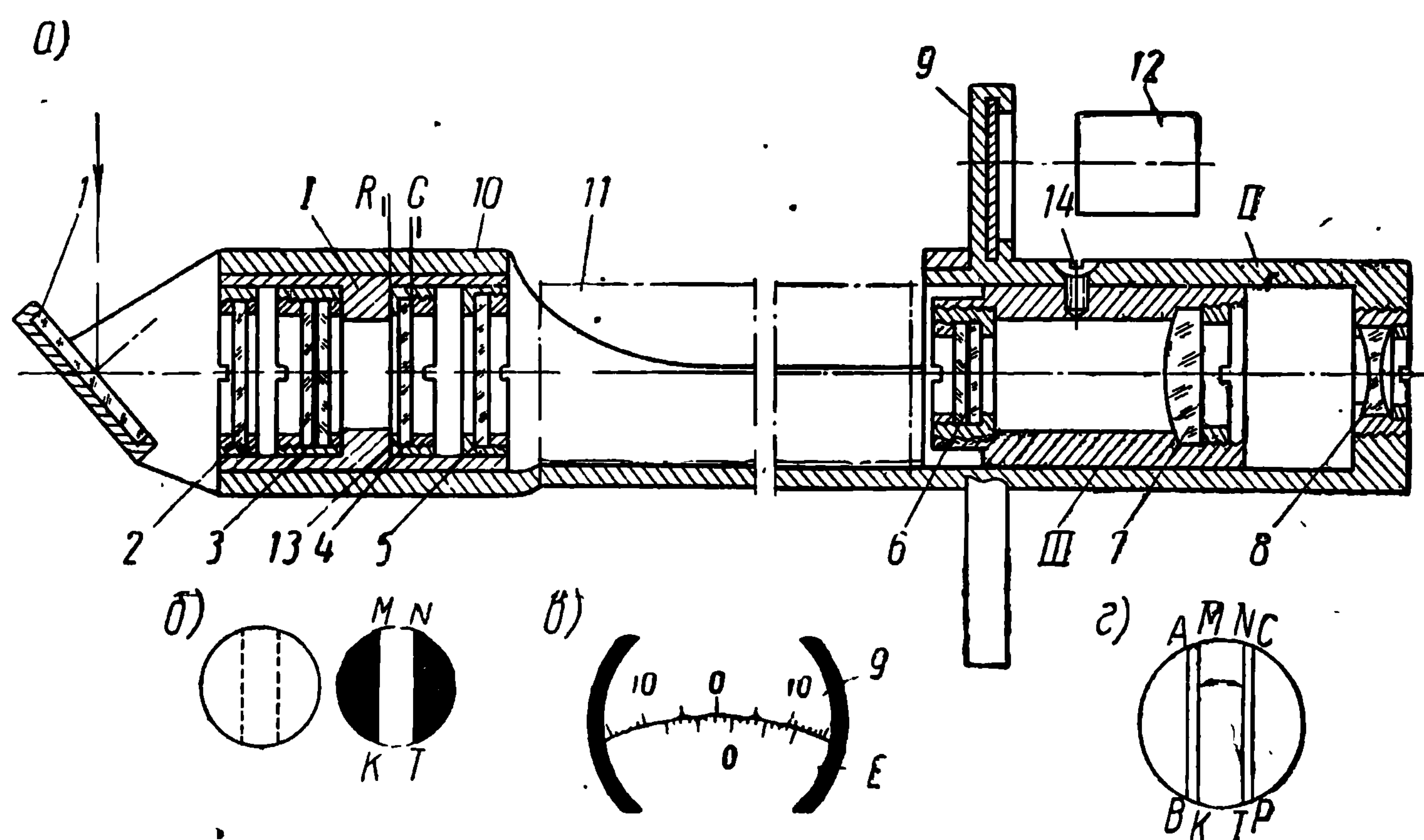


Рис. 159

в оправе, образуя узел *I* поляризатора. Детали *6* и *7* составляют узел *III* анализатора, который крепится к головке *II* анализатора. В головке монтируются шкала *9* и окуляр *8*. Узел *I* поляризатора и головка *II* анализатора крепятся в корпусе *10* прибора, куда вставляется и кювета (трубка) *11* с контролируемым раствором.

Поворот анализатора связан со шкалой *9*, позволяющей определить угол поворота плоскости поляризации. Шкала рассматривается в лупу *12*.

Кварцевая пластинка имеет вид прямоугольника МНТК (рис. 159, *б*), расположена в центре поля зрения и разделяет его на три части. Средняя зона соответствует свету, прошедшему через кварцевую пластинку и анализатор, боковые зоны — свету, прошедшему только через анализатор.

При юстировке прибора следует обеспечить следующие условия. Кварцевая пластинка должна быть вертикальна и симметрична относительно центра поля. Поляризатор и анализатор должны быть установлены в нулевое положение (соответствует почти полному их скрещиванию); при этом поле должно быть равномерно окрашено в оранжевый цвет; зоны поля сливаются (рис. 159, *б* слева). Шкала *9* отсчета угла поворота должна быть установлена на нуль шкалы *E* (рис. 159, *в*). Угол между осью кварцевой пластинки и направлением плоскости поляризации поляризатора должен составлять $5 \div 7°$. Кварцевая пластинка *4* приклеивается к оправе *13* симметрично относительно ее оси. Важно обеспечить параллельность плоскостей *R* и *G* с точностью до 5′.

Юстировка поляризационных деталей производится на приборах, имитирующих поляриметр. Сначала юстируется узел *I*. При юстировке этого узла обеспечиваются вертикальное положение пластинки в поле зрения и нужный угол ($6° \pm 1°$) между плоскостью поляризации поляризатора и осью кварцевой пластинки.

Узел *I* монтируется в корпусе *10* имитационного прибора, у которого правильно установлена головка *II* анализатора. На одном из защитных стекол анализатора имеются штрихи *AB* и *CD* (рис. 159, *г*). Поворотом кварцевой пластинки MNTK с оправой *13* она устанавливается вертикально, параллельно штрихам *AB* и *CP* анализатора.

Развернув узел *III* анализатора от исходного (эталонного) положения на угол $5 \div 7°$, поворачивают юстируемый поляризатор относительно кварцевой пластинки, добиваясь в средней зоне поля зрения желтовато-оранжевого цвета и темных, почти черных, боковых зон (рис. 159, *б* справа). Если прибор отъюстирован правильно, то при обратном развороте анализатора в исходное положение плоскости анализатора и поляризатора должны составить заданный угол. Это будет нулевое положение прибора, при котором в поле зрения не будет видно отдельных зон (рис. 159, *б* слева). Если это не вполне получается, то следует повторить юстировку анализатора и пластинки, уточняя нужный угол между их осями.

Закрепив узел *I* в корпусе *10* юстируемого прибора, устанавливают шкалу *9* в нулевое положение, а узел *III* анализатора разворачивают в корпусе *II*, добиваясь нулевого положения анализатора по отношению к поляризатору; правильность подтверждается видом поля зрения, представленного на рис. 159, *б* слева. Достигнув этого, узел *III* закрепляют в корпусе *II* винтом *14*. Если при установке этого винта происходит некоторое рассогласование плоскостей поляризатора и анализатора, то приходится вновь их юстировать поворотом узла *III*, добиваясь указанного выше вида поля зрения.

§ 54. Фотометрические и колориметрические приборы

Основные сведения

Приборы этой группы весьма разнообразны как по назначению, так и по конструктивному оформлению. Действие их основано на сравнении световых потоков, проходящих (или отраженных) через эталон и испытуемый образец путем уравнивания освещенностей фотометрических полей.

В визуальных приборах уравнивание освещенностей производится субъективным наблюдением двух половинок поля зрения. В фотоэлектрических приборах происходит уравнивание освещенностей на двух фотоэлементах.

Приборы состоят из двух ветвей — измерительной и уравнивающей (компенсационной).

Уравнивание (компенсация) потоков производится главным образом раздвижной диафрагмой (рис. 160) либо при помощи фотометрических клиньев (см. рис. 162).

Важнейшая задача юстировки приборов — обеспечение постоянства световых потоков в измерительной и компенсационной ветвях прибора.

Освещение обеих ветвей достигается одним источником света, световой поток от которого делится на две части различными конструктивными способами. Световые потоки должны ярко и равномерно заполнять измерительную и компенсационную диафрагмы. Это достигается регулировкой источника света и центрировкой световых потоков относительно диафрагм. Недопустимы срезания световых потоков какими-либо деталями приборов.

В визуальных приборах половинки фотометрического поля зрения должны быть равны и делиться контрастной линией раздела *AB* (рис. 161, *б*) определенной ширины, расположенной обычно вертикально. Зрачки выхода систем обеих ветвей прибора должны совпадать при любом раскрытии диафрагм.

В фотоэлектрических приборах необходима одинаковая чувствительность обоих фотоэлементов.

Фотометрическая головка

Этот прибор является типовым и используется в различных конструктивных вариантах фотометрических приборов.

Рассмотрим действие головки на примере использования ее в горизонтальном фотометре ФМС-56 (рис. 160, *а* и *б*). На рис. 160 схематично представлены основные узлы прибора. Осветитель фотометра и его кюветы показаны на рис. 160, *в*, которые при работе прибора должны находиться перед фотометрической головкой (рис. 160, *в*). Лучи света, идущие от лампы *26*, направляются зеркалами *27* и конденсорами *28* в диа-

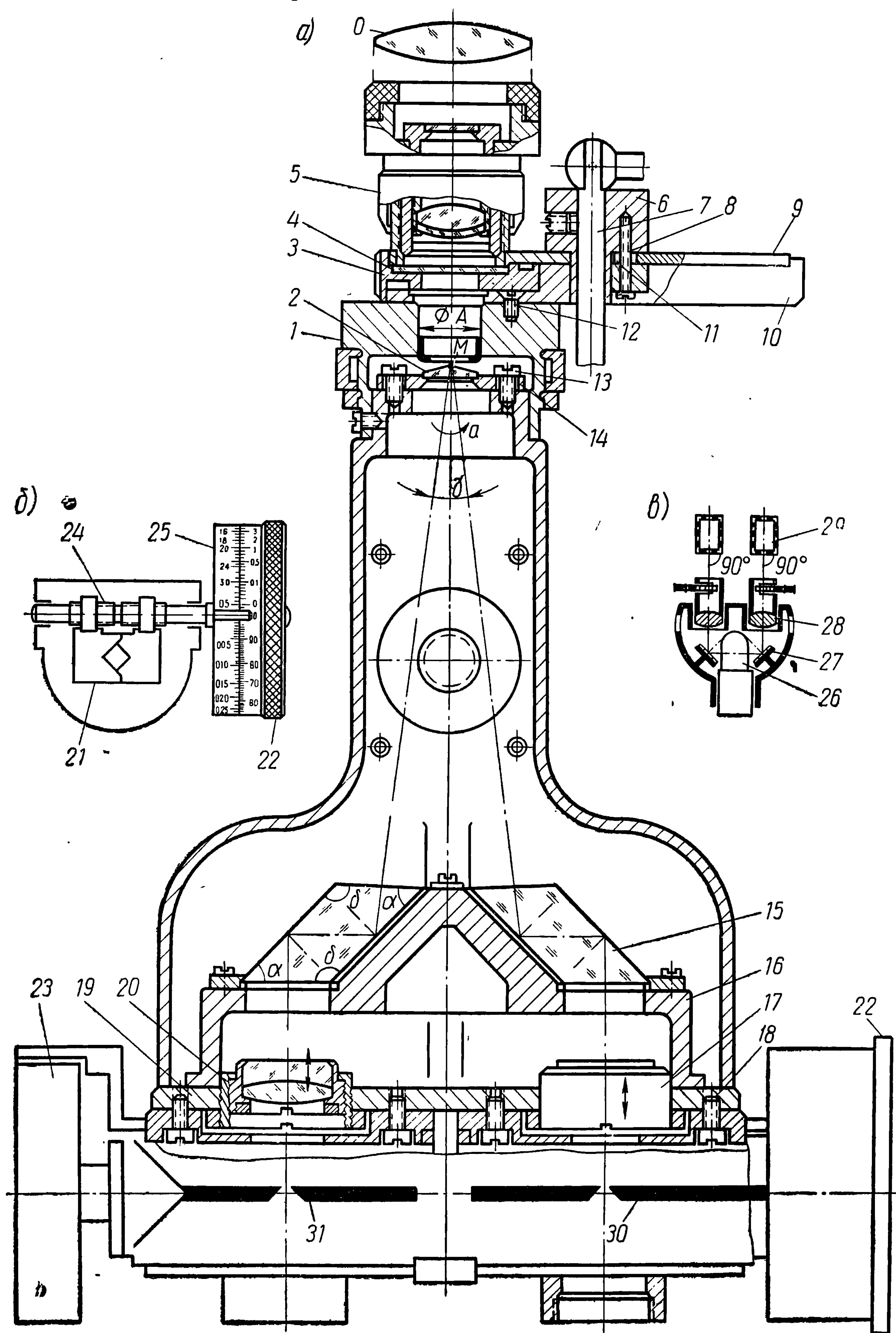

а)
0
5
4
3
2
1
Ø A
M
6
7
8
9
10
11
12
13
14
а
б)
24
25
21
22
в)
90°
90°
28
27
26
δ
α
15
16
17
18
19
20
23
22
31
30

Рис. 160

фрагмы *30*, *31* и объективы *17* (рис. 160, *а*). Призмы *15* имеют углы α и β, не равные друг другу, благодаря чему лучи после объективов сводятся на бипризму *2* под углом γ в одно поле зрения, наблюдаемое в окуляр *5*. Действие призмы таково, что одна часть пучка (например, правая) попадает на одну (например, левую) половину бипризмы и создает яркость одной (левой) половины поля, в то время как другая (левая) часть пучка отклоняется этой частью призмы и в поле зрения не попадает.

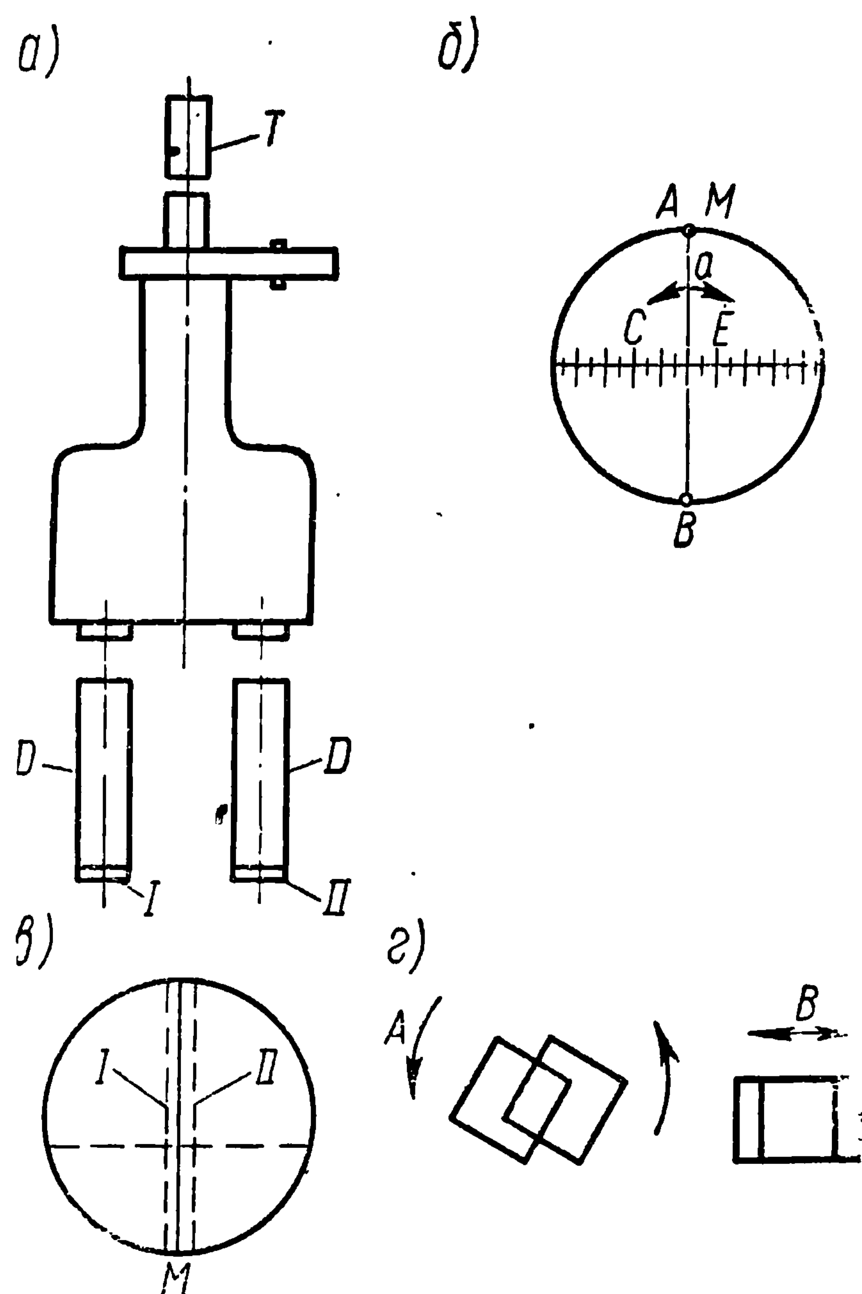


Рис. 161

Для контроля цветных объектов фотометр имеет одиннадцать светофильтров *4*, закрепленных в револьверном диске *3* револьверной головки *10*, вращающемся относительно оси *7*. Окуляр монтируется на крышке *9* револьверной головки, которая сама крепится к корпусу *1* прибора винтами *12*.

Диафрагмы *30* и *31* состоят из двух пластинок *21* (рис. 160,*б*), раздвигающихся при помощи рукояток *22* и *23* (рис. 160, *а*), закрепленных на винтах *24* (рис. 160, *б*). При одинаковом раскрытии диафрагм и одинаковом их освещении поля зрения окуляра будут иметь одинаковую яркость. Если при этом на пути одного светового потока поместить объект, частично поглощающий свет, то яркость соответствующей зоны поля зрения уменьшится. Достичь фотометрического равновесия обеих зон поля можно уменьшением раскрытия другой диафрагмы. Поскольку световые потоки равномерных пучков света пропорциональны площади раскрытия диафрагм, то отношение площадей отверстий диафрагм дает отношение световых потоков.

На отсчетных барабанах *25*, связанных с диафрагмами, нанесено отношение (в процентах) площади отверстия диафрагмы при данном ее раскрытии к площади при максимальном раскрытии. Отношение отсчетов по шкале барабана может служить мерой коэффициента пропускания испытуемого образца.

Сборка идет следующим образом. Устанавливаются призмы *15* на мостике *16* и в дальнейшем не юстируются. Мостик

с призмами крепится к плато *19*, в которое ввертываются объективы *17* в эксцентриковых оправах *20*. Весь этот узел фиксируется винтами *18*. Устанавливается узел бипризмы *2* и крепится к корпусу *1* винтами *13*.

Далее выполняются следующие юстировки:

1) совмещение оси окуляра с осью отверстия ϕA (механическая база) в корпусе *1*. Окуляр *5* ввинчивается в крышку *9* узла светофильтров; ее надо установить так, чтобы ось окуляра совпала с осью отверстия ϕA. Это достигается при помощи центрирующей втулки *, которая ввертывается в резьбу отверстия под окуляр в крышке *9* и вставляется одновременно в отверстие ϕA. Положение крышки при этом регулируется благодаря зазору *11* в крышке *9* относительно ее втулки *6*, в которую входит ось *7*. После этого крышка закрепляется винтом *8*, фиксируя соосное положение окуляра относительно ϕA;

2) установка объективов *17* и окуляра в нулевое положение и установка ребра *M* бипризмы *2* в общую фокальную плоскость объективов и окуляра. Эта юстировка выполняется на установке, имеющей два эталонных коллиматора *D* (рис. 161, *а*), оси которых параллельны, и зрительную трубу *T*, и осуществляется осевыми перемещениями объективов *17* и окуляра относительно ребра *M* установленной ранее бипризмы *2* (рис. 160, *а*);

3) установка ребра *M* бипризмы в вертикальное положение (рис. 161, *б*) с обеспечением равенства полей *C* и *E* с точностью до $\frac{1}{40}$ всего поля зрения. Эта юстировка производится перемещением и разворотом (по стрелке *а*) основания *14* бипризмы в зазорах отверстий под винты *13* и самой бипризмы (рис. 160, *а*). Правильное положение ребра *M* бипризмы характеризуется его совпадением с вертикальным штрихом *AB* сетки трубы *T* (допуск $\pm 2°$); равенство полей оценивается по ее горизонтальной шкале (рис. 161, *б*);

4) обеспечение угла γ сходимости осей объективов (рис. 160, *а*). Это достигается при помощи эксцентриковых оправ *20* объективов *17*. Юстировка выполняется до обеспечения положения *I* и *II* изображений крестов сеток коллиматоров *D* (рис. 161, *а*) относительно линии раздела *M*, как это показано на рис. 161, *в*.

Диафрагмы *30* и *31* (рис. 160, *а*) являются в приборе зрачками входа; их изображения (т. е. зрачки выхода) должны совпадать с точностью до 0,1 *мм*; сведение этих изображений по стрелке *A* (рис. 161, *г*) достигается перемещением узлов диафрагм относительно винтов *24*, связывающих узлы диафрагм

---

* На рис. 160, *а* не показана.

с корпусом прибора (рис. 160, *б*); сведение изображений по стрелке *В* (рис. 161, *г*) осуществляется осевым перемещением винта *24* узла диафрагм вместе с диафрагмами (рис. 160, *б*).

Поскольку зрачки выхода благодаря бипризме находятся внутри прибора, наблюдение их возможно только при помощи лупы *О* (рис. 160, *а*), сфокусированной на эти изображения.

Качество механической сборки узла диафрагм должно быть весьма высоко. Так, например, стороны квадратов диафрагм должны быть параллельны с точностью до 0,02 *мм*; контроль осуществляется при помощи инструментального микроскопа.

Регулировка и установка осветителя. В зависимости от применения фотометрической головки осветитель устанавливается без излома осей его конденсоров (рис. 160, *в*) либо при помощи зеркала с изломом осей. В любом случае необходимо, чтобы оси обоих пучков лучей были параллельны. Это достигается осевым перемещением патрона с лампой *26* и конденсоров *28* и наклонами зеркал *27*.

Регулировка осветителя производится при помощи экрана, устанавливаемого приблизительно на расстоянии в 1 *м* от осветителя. Добиваются, чтобы на экране образовывались два изображения нитей лампы на расстоянии, равном расстоянию между осями конденсоров. Изображения нитей должны быть резкими на одном уровне. При регулировке лампы нельзя сильно вдвигать ее в корпус осветителя, так как это приведет к перекрещиванию световых пучков при правильном изображении нитей на экране.

При определении коэффициентов пропускания света жидкостей их наливают в кюветы *29* (рис. 160, *в*). В одну кювету наливается эталонная жидкость, в другую — испытуемая. Входные грани кювет должны быть нормальны к световым пучкам. Стекла кювет не должны иметь дефектов (царапин, пузырей и пр.), рассеивающих свет.

Фотоэлектроколориметр ФЭК-М

Прибор предназначается для объективного определения концентраций окрашенных растворов.

Действие прибора (рис. 162, *а*) заключается в следующем. Пучки лучей направляются от источника света *1* конденсорами *2* через тепловые фильтры *3*, зеркала *4* и светофильтры *5* в линзы *6* и, далее, в кюветы *7*. Одна из кювет наполнена испытуемым раствором, другая — эталонным. Лучи, прошедшие кювету в правой ветви прибора, проходят далее раздвижную диафрагму *8* и направляются объективом *9* и призмой *10* на фотоэлемент *I*. Лучи левой ветви направляются объективом *11* анало-

гичным образом на фотоэлемент *II* через компенсационные клинья *12*.

Принцип работы прибора основан на уравнивании световых интенсивностей световых потоков обеих ветвей прибора при помощи щелевой диафрагмы *8* и компенсационных клиньев *12*. Фотоэлементы включены на гальванометр *13* по дифференциальной схеме, и при равенстве интенсивностей световых потоков стрелка гальванометра устанавливается на нуль шкалы. Уравнивание интенсивностей осуществляется изменением ширины щели *8*, которое связано с изменением отсчета светопропускания или оптической плотности по шкалам барабана *14*, связанного с механизмом раздвижения щели.

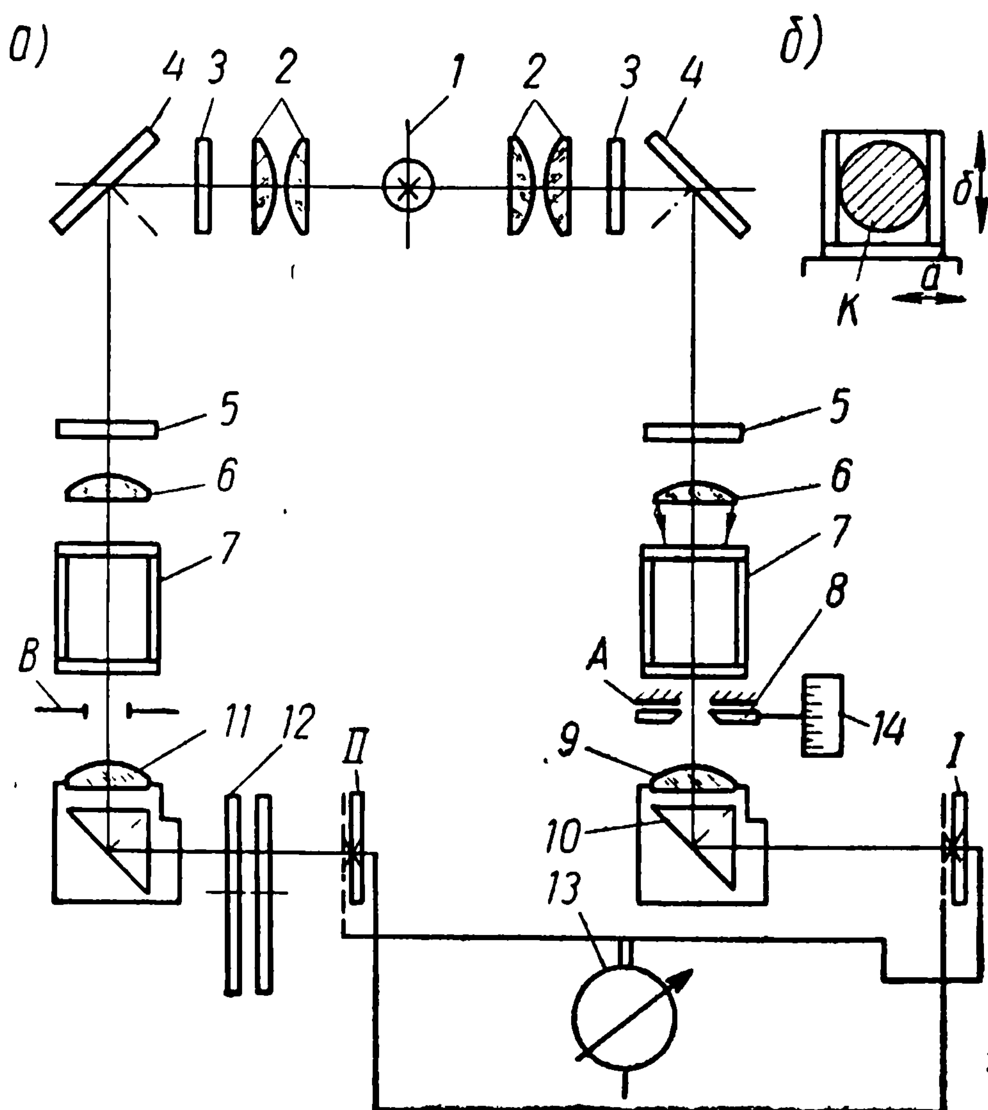


Рис. 162

Основная задача юстировки прибора заключается в обеспечении **одинакового освещения обоих фотоэлементов**. Это достигается строгой центрировкой световых потоков в обеих ветвях приборов и равномерным и полным освещением измерительной щели.

Регулировкой осветителя, осевым перемещением конденсоров и поворотами зеркал добиваются, чтобы на папиросной бумаге, помещенной на поверхностях линз *6* (по их вертикальному диаметру), проектировались изображения нитей лампы. Регулируют узел щели, чтобы она была вертикальна и располагалась по центру диафрагмы *А*, находящейся в плоскости со щелью. Перемещением линз *6* добиваются равномерного и полного заполнения диафрагмы *А* (рис. 162, *а*), установленной в плоскости щели *8*; щель должна вписываться в ярко освещенную диафрагму *А*. Аналогичным образом добиваются равномерного заполнения светом диафрагмы *В* левой ветви прибора.

Перемещением узла объектива *9* и призмы *10* добиваются равномерного освещения матового стекла фотоэлемента *I*. Юстировка освещения левого фотоэлемента выполняется аналогичным образом и при регулировании положения узла клиньев *12*, чтобы они не срезали пучки лучей. После этого устанавливают кюветы путем перемещения их в горизонтальной плоскости (по

стрелке *а*) и вертикальным движением кюветодержателя (по стрелке *б*) (рис. 162, *б*). Световой пучок *К* должен заполнять сечение кюветы, не срезаясь ее стенками и дном.

Далее регулируют положение шкал отсчетного барабана *14*, согласовывая их показания с показаниями стрелки гальванометра *13*. Например, при закрытой щели отсчет по шкале равен нулю, и стрелка гальванометра тоже показывает на нуль. Показания светопропускания в любой части шкалы должны быть постоянными.

Правильность работы прибора проверяется при отсутствии кювет путем включения вместо правой кюветы эталонных нейтральных светофильтров заданной плотности (при нейтральном же фильтре прибора). При правильной работе прибора отсчет по шкале плотностей барабана при уравнивании интенсивностей потоков должен соответствовать плотности введенного эталонного фильтра.

Правильность работы прибора нарушается главным образом от непостоянства световых потоков в обеих ветвях прибора. Причины нарушения могут быть следующие: срезание пучков деталями прибора; загрязнение оптических деталей прибора и эталонных светофильтров, разная ширина буртика завальцованных оптических деталей; различная чувствительность фотоэлементов.

Проверка чувствительности прибора выполняется (для всех четырех светофильтров прибора) так. Открывают немного щель *8*, устанавливая шкалу барабана *14* на деление 95. При этом стрелка гальванометра смещается с нуля шкалы. При помощи компенсационных клиньев ставят стрелку гальванометра на нуль. Осторожно смещают шкалу барабана на одно деление. При достаточной чувствительности прибора стрелка гальванометра должна сместиться с нуля не менее чем на 1,5 деления шкалы. Если чувствительность прибора не в допуске, требуется проверить гальванометр и при необходимости сменить фотоэлементы.

Нефелометр НФМ

Этот прибор предназначается для определения концентрации твердого или жидкого вещества, взвешенного в жидкости, концентрации коллоидных растворов, мутностей различных взвесей.

Принцип действия прибора основан на измерении светорассеивания исследуемого вещества. Светорассеяние производится в нефелометрической насадке *I* (рис. 163), а его измерение — фотометрической головкой *II* (рис. 160, *а* и 163). Нефелометрическая насадка надевается на насадку *III* фотометрической головки, имеющей две линзы *1*. Исследуемое вещество *2* наливается в кювету *3*, закрепленную в центре камеры *4* нефелометрической головки, заполненной дистиллированной водой. Лучи света, идущие от лампы *5*, делятся пластинкой *6* на два свето-

вых потока. Один из них, проходящий через пластинку *6*, направляется конденсором *7* в камеру *4*, рассеивается частицами исследуемого вещества в кювете и при помощи линзы *8* идет в одну ветвь фотометрической головки. Другой поток, отраженный от пластинки *6*, попадает на матовое, или молочное, стекло *9*, рассеивается им и попадает в другую ветвь фотометрической головки.

Уравнивание потоков производится при помощи диафрагмы *21* фотометрической головки *II* (рис. 160, *б*). Световой поток,

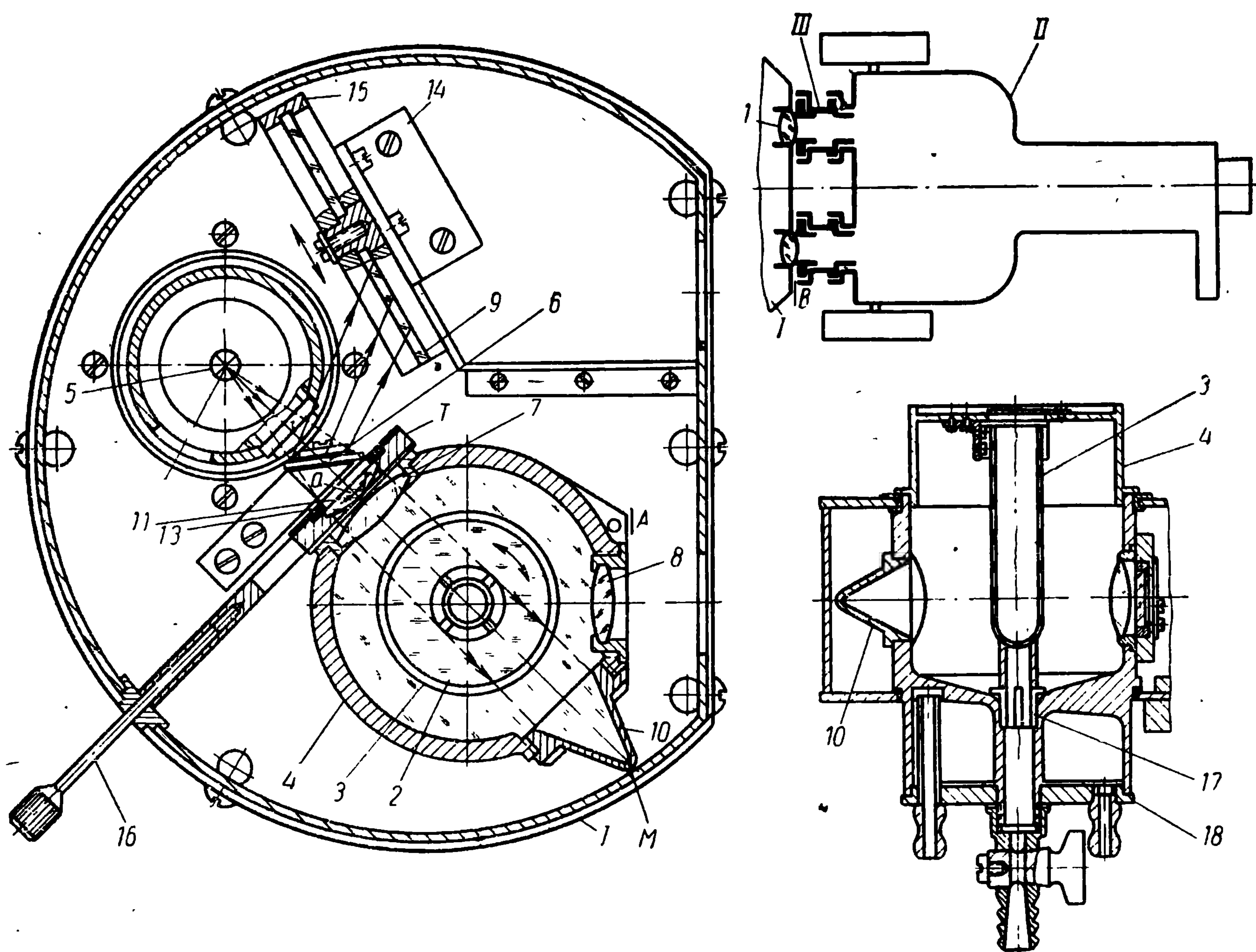


Рис. 163

прошедший через кювету и не рассеянный жидкостью, гасится в ловушке *10* камеры *4*.

При анализе жидкостей в небольших объемах кювета имеет вид цилиндра. В этом случае пучок лучей, идущий в кювету, суживается при помощи цилиндрической линзы *11*, включаемой перед конденсором *7* при помощи ручки *16*. Необходимо, чтобы вода в камере была чистая, без пыли, что достигается ее двойной перегонкой. Стенки кюветы не должны иметь дефектов, рассеивающих свет (пузыри, царапины).

Основная задача юстировки нефелометра заключается в обеспечении равномерности обоих световых потоков и центрировании их относительно линз

и диафрагм прибора без срезания. Это достигается правильной установкой камеры *4*, лампы *5* осветителя, делительной пластинки *6*, рассеивающих пластин *9*, цилиндрической линзы *11*. Сначала поворачивают камеру *4*, чтобы плоскость *A* окна линзы *8* была параллельна плоскости *B* торца насадки *III*. Вращая лампу *5* и регулируя ее по высоте, добиваются хорошей равномерной освещенности входного окна оправы *13* цилиндрической линзы *11* и совмещения изображения нити лампы с вершиной *M* конуса световолвушки *10*.

Наливают в камеру *4* воду; в ход лучей вводят цилиндрическую линзу *11* и, перемещая ее цилиндрической поверхностью по оправе *T* (стрелка *a*), центрируют линзу относительно оси конденсора *7*, добиваясь расположения световых пучков симметрично оси ловушки *10*.

Устанавливают делительную пластинку *6*, добиваясь ее разворотом и регулировкой кронштейна *14*, несущего диск *15* с рассеивающими пластинками *9*, полного заполнения пластинок световым потоком без срезания.

Установив нефелометрическую насадку на фотометрическую головку *II*, регулируют центратор *17* кюветы относительно кюветодержателя *18*, чтобы стенки кюветы не попадали в поле зрения фотометрической головки. При наблюдении поля зрения через лупу, сфокусированную на изображение кюветы, не должны быть заметны дефекты ее стенок и блики от цилиндрической линзы.

§ 55. Интерференционные приборы

Общие сведения

Основные задачи юстировки интерферометров заключаются в обеспечении их исходных (или начальных) и рабочих положений, при которых в поле зрения прибора наблюдается определенная интерференционная картина.

Например, в двухлучевых интерферометрах под исходным положением понимают такое расположение его оптических деталей, при котором оптическая разность хода лучей обеих ветвей прибора равна нулю, а разделенные лучи по выходе из интерферометра совпадают по направлению и не имеют смещения, т. е. имеет место так называемая нулевая полоса.

В рабочем положении интерферометр должен обеспечить в заданной части пространства прибора интерференционную картину (поле) определенных размеров с полосами определенной ширины, формы и направления с максимальной яркостью и контрастом. Эта картина должна обеспечивать проводимое измерение с заданной точностью.

Интерферометр ИТР-1

Этот прибор (рис. 164) сконструирован по схеме Рэлея и предназначается для определения концентрации растворов и газовых смесей сравнением показателей преломления испытуемых жидкостей и газов с эталонными.

Действие интерферометра основано на дифракции от двойной щели. Лучи, идущие от источника света *1* (рис. 164, *а*),

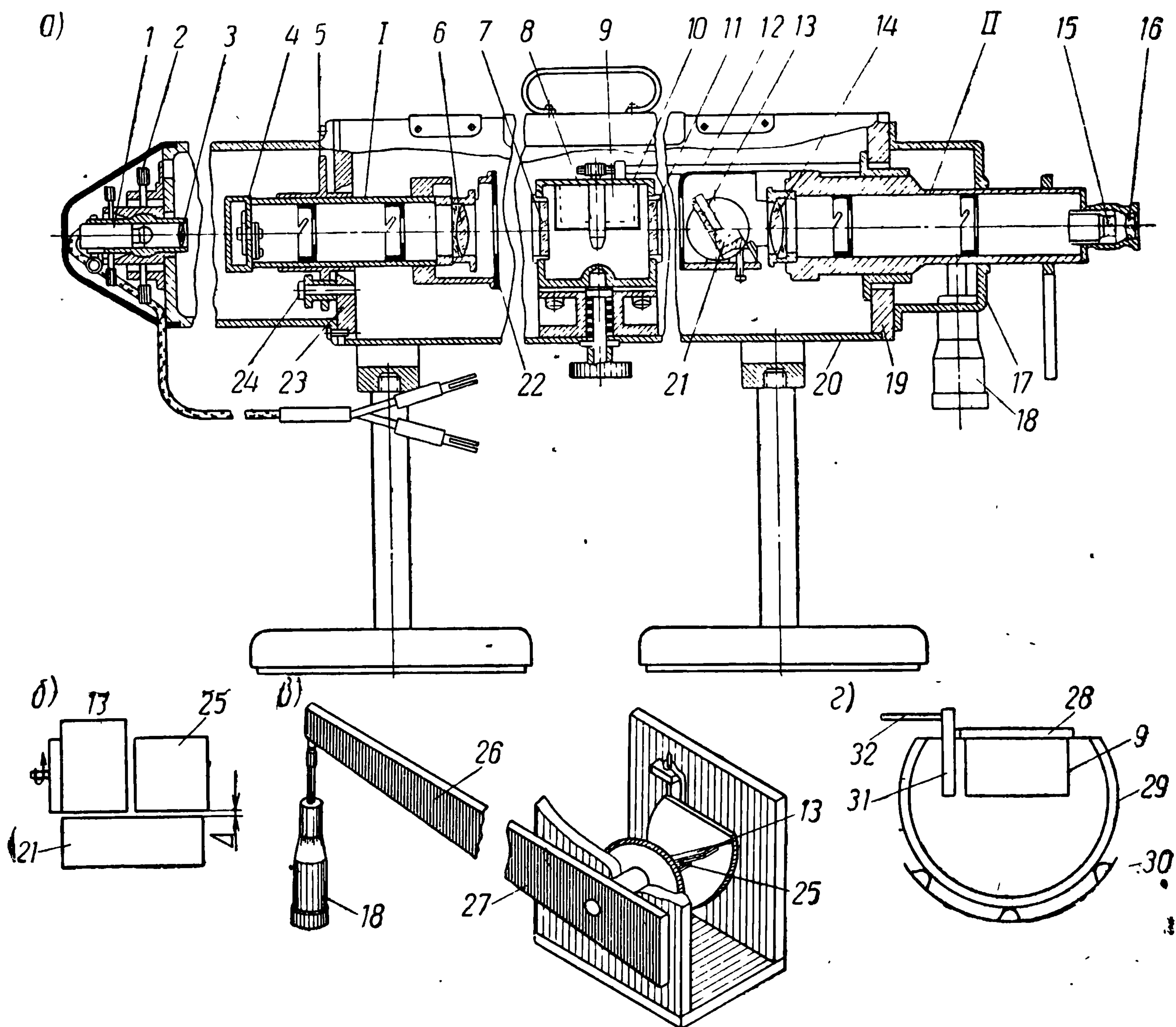


Рис. 164

освещают посредством конденсора *3* щель *4*, установленную в фокальной плоскости объектива *6* коллиматора *I*. Параллельно идущие от объектива лучи проходят две щели *MN* (рис. 165, *б*) диафрагмы *22* (рис. 164, *а*), надетой на объектив *6*, и, пройдя объектив *14* зрительной трубы *II*, дают в поле зрения окуляра *16* интерференционную картину (рис. 166). Коллективная линза *15* окуляра представляет собой цилиндр и вытягивает изображение точечного источника света в вертикальную светлую линию.

Испытуемые и эталонные жидкости наливаются в кюветы 9, поперечные размеры которых перекрывают только верхнюю половину поля зрения объективов. Поэтому лучи, проходящие через кюветы, дадут в поле зрения интерференционную картину C, отличную от картины B, даваемой лучами, проходящими ниже кювет (рис. 166,*б*). В исходном положении прибора разность хода лучей, проходящих обе кюветы, равна нулю, и верхняя интерференционная картина полос совпадает с нижней (рис. 166,*а*). В рабочем положении разность хода лучей не равна нулю, и верхняя система полос несколько сдвигается относительно нижней (рис. 166,*в*) *.

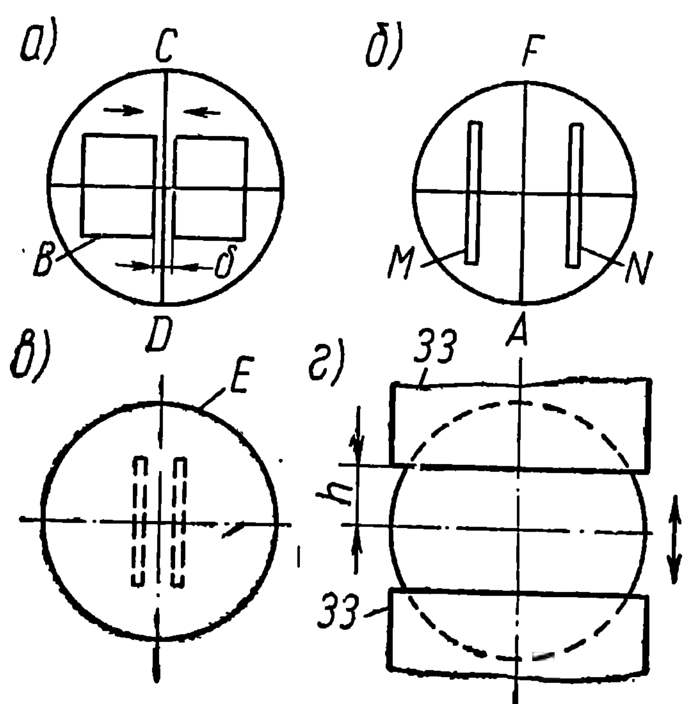


Рис. 165

Смещение полос оценивается по нулевой полосе спектра, характерной отсутствием хроматического окрашивания. Чувствительность совмещения двух интерференционных систем весьма высока и достигает примерно 1/20 и даже 1/30 ширины полосы. Использование в окуляре цилиндрической линзы делает прибор нечувствительным к небольшим изгибам, так как в этом случае полосы обеих систем смещаются одновременно.

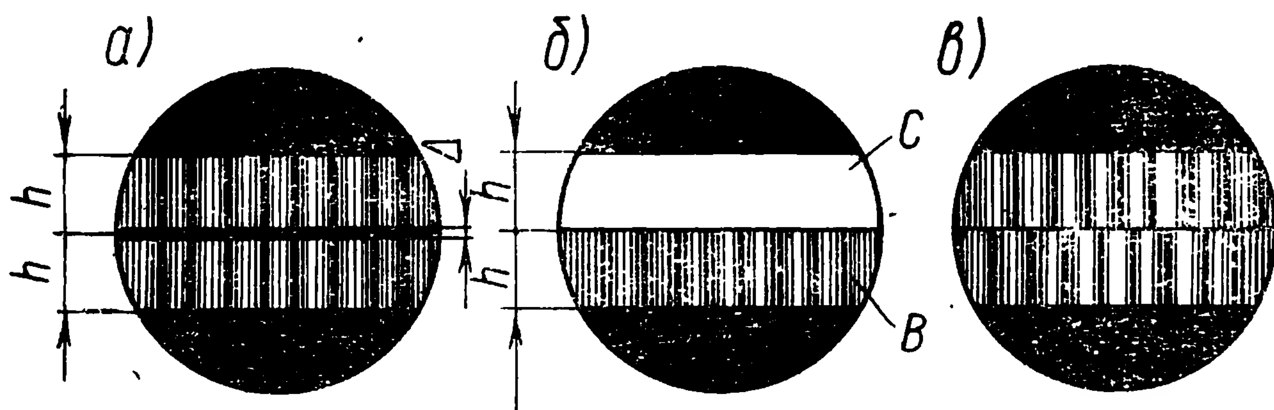


Рис. 166

Спектры разъединяются линией шириной Δ (рис. 166, *а*), создаваемой деталями узла компенсатора. Компенсатор состоит из пластинок *13, 25* и *21* (рис. 164, *а*, *б* и *в*). Пластинка *13* поворачивается при помощи рычага *27* от отсчетного микрометренного винта *18* (рис. 164, *а*, *в*), создавая дополнительную разность хода, нужную для совмещения верхних и нижних интерференционных полос. Отсчет по шкале винта соответствует

* Если разность хода велика, то верхняя система полос выходит за пределы поля зрения (рис. 166, *б*).

разности показателей преломления эталонной и испытуемой жидкостей.

Кюветы *9* крепятся на плато *28* (рис. 164, *г*), которое кладется на верхнюю плоскость термокамеры *29*. Термокамера предназначается для уравнивания температуры испытуемой жидкости. В термокамеру наливается вода или другая термостатирующая жидкость, которая размешивается мешалкой *31* при помощи привода *32*. Мешалка расположена сбоку от кюветы.

Термокамера для прохождения лучей через нее имеет окна со стеклянными пластинками *7* и *11* (рис. 164, *а*).

Основной задачей сборки и юстировки прибора является получение в поле зрения окуляра резкой, яркой и контрастной интерференционной картины вертикальных неискаженных полос, позволяющих производить точное совмещение верхней и нижней интерференционной картины при измерении. Для достижения этой цели необходимо разделение картин на две зоны одинаковой высоты и обеспечение ширины Δ (рис. 166, *а*) линии раздела (она представляется черной) не более 1/8 ширины интерференционной полосы. Необходимо также выдержать нужное максимальное смещение полос в поле зрения при полном повороте пластинки компенсатора и величину смещения интерференционных полос на один оборот измерительного винта.

Юстировка прибора начинается с коллиматора *I*. Надо установить щель *4* в фокус объектива *6* и отцентрировать коллиматор относительно зрительной трубы *II*. Эти юстировки выполняются на специальной установке (имитирующей интерферометр) по длиннофокусной эталонной зрительной трубе. В корпус такой установки крепится коллиматор *I* с фланцами *5* и *23*, из которых последний является посадочным при креплении его в корпусе *20* интерферометра. Установив щель *4* в фокус объектива *6*, обычным способом устанавливают коллиматор *I* соосно зрительной трубе *II*, выставляя один из ножей щели *4* (например, *B*, рис. 165, *а*) в среднее положение, и добиваются разворотами коллиматора во фланце *23* винтами *24*, чтобы ребро ножа совпало с вертикальным штрихом *DC* сетки эталонной трубы.

Для обеспечения правильного хода лучей через щели *M* и *N* диафрагмы *22* необходимо, чтобы они были параллельны щели *4*. Для этого заменяют зрительную трубу *II* микроскопом и фокусируют его на щели диафрагмы *22*; разворотом ее и наклонами коллиматора добиваются, чтобы ее щели были параллельны вертикальному штриху *AF* сетки микроскопа и расположены симметрично ей (рис. 165, *б*).

Отъюстированный коллиматор устанавливается в корпус *20* интерферометра, в котором зрительная труба *II* закреплена жестко по оси корпуса.

Несмотря на то, что коллиматор выставлен соосно эталонной юстировочной трубе, желательно проверить его соосность трубе *II* интерферометра. Для этого на объектив *14* трубы *II* закрепляют экран *E* (рис. 165, *в*) и освещают щель *4* коллиматора от осветителя *1*. Если коллиматор установлен правильно относительно зрительной трубы, то пучки лучей, выходящие из щелей диафрагмы *22*, осветят экран *E* симметрично его оси. Если этого нет, то юстируют коллиматор, наклоняя его винтами *24*.

Теперь устанавливают зрительную трубу *II* в нулевое положение по коллиматору. Это достигается осевым перемещением объектива *14* трубы при установке окуляра *16* в среднее положение, добиваясь в поле зрения окуляра резко видимого спектра. Регулировкой ширины щели *4* и положения осветителя *1* относительно щели добиваются яркой и контрастной интерференционной картины с нулевыми линиями в центре поля.

Установив на трубе *II* узел компенсатора (рис. 164, *б* и *в*), добиваются вертикальным перемещением и поворотом пластинки *21* нужной ширины Δ линии раздела.

Вращая узел компенсатора относительно оси зрительной трубы, располагают линию раздела горизонтально. Закрепив на фланце *19* корпус *17* с микрометренным винтом *18*, устанавливают его шкалу в нулевое положение относительно отсчетного индекса, а пластинки *21* и *25* компенсатора так, чтобы интерференционные картины в обеих частях поля совпадали (рис. 166, *а*).

Надевают на объектив *14* зрительной трубы *II* диафрагму (на рис. 164, *а* не показана) с планками *33*, раздвигая которые обеспечивают заданную высоту *h* полей (рис. 165, *г* и 166, *а*).

Термокамера *9* устанавливается так, чтобы ее смотровые стекла *7* и *11* (рис. 164, *а*) были нормальны оси системы. Для этого стекла при сборке могут несколько наклоняться в оправах и устанавливаться в нужное положение при помощи автоколлимационной трубки. Смотровые стекла не должны ухудшать качества интерференционной картины, вследствие чего натяжения в них допускаются выше второй категории.

Интерферометры типа Цендера

Эти приборы предназначаются в основном для изучения неустойчивых и быстро протекающих явлений, например воздушных вихрей. Поскольку изучаемые явления должны происходить между элементами интерферометров, их делают большими, достигающими иногда нескольких метров.

Интерферометр (рис. 167, *а*) в принципиальной схеме состоит из четырех элементов — разделительных пластинок *A* и *E* и

зеркал B и D. Исследуемая среда, например поверхность P, находится между элементами интерферометра.

В неотъюстированном приборе выходящие из интерферометра лучи обеих ветвей могут образовывать между собой угол α,

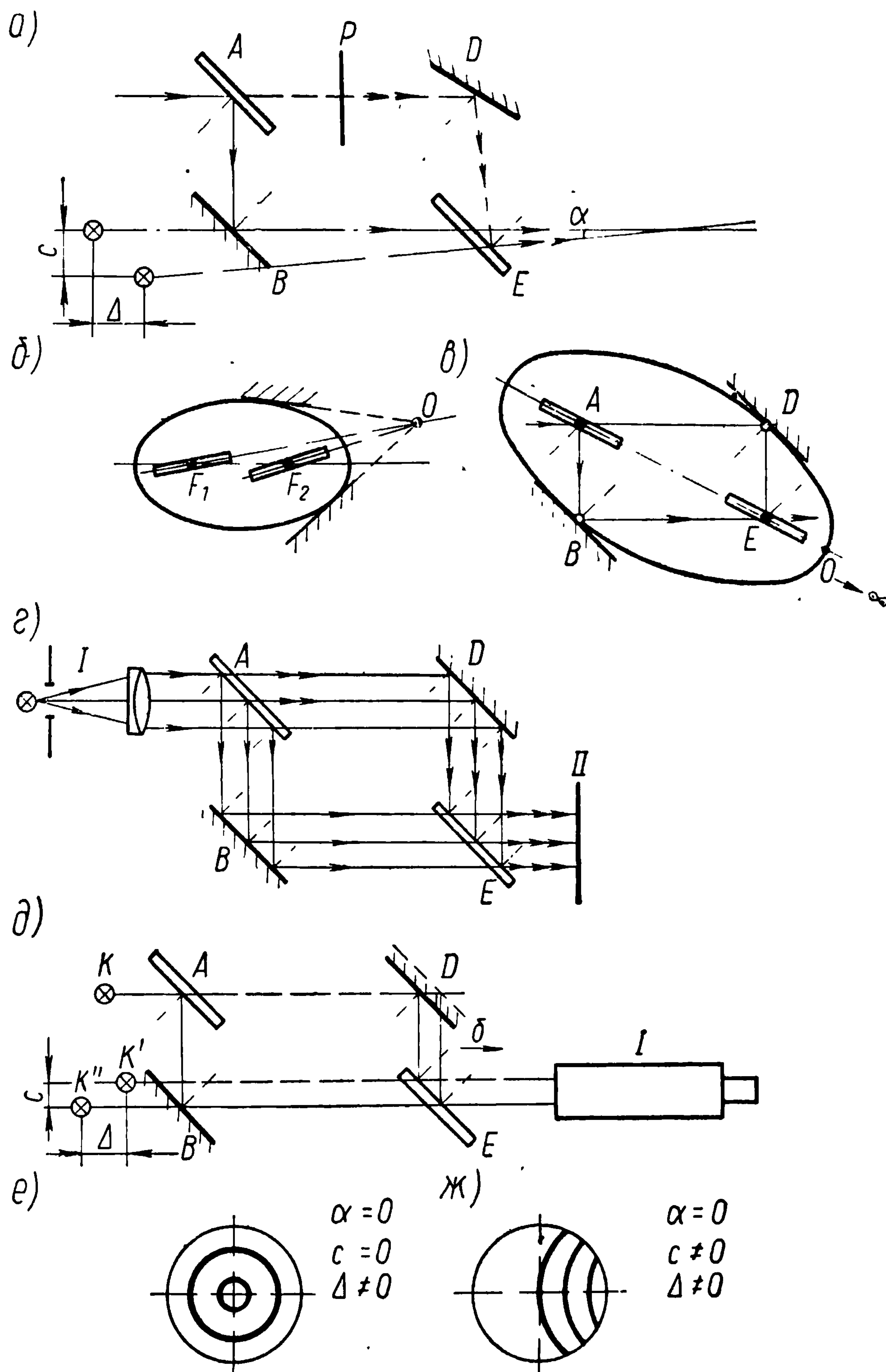


Рис. 167

быть смещенными на величину c и обладать разностью хода Δ. Основная задача юстировки прибора заключается в устранении указанных отклонений. В этом случае в интерференционном поле прибора будет наблюдаться бесконечно широкая нулевая полоса.

Принципиально задача юстировки решается при условии, если все элементы интерферометра расположены по так называемой эллиптической схеме. Это значит, что разделительные пластины прибора проходят через фокусы эллипса; зеркала́ (рис. 167, *б*) касательны ему, а направления всех элементов проходят через одну точку *O*, называемую полюсом интерферометра. В частном случае полюс можно расположить в бесконечности (рис. 167, *в*), и тогда элементы интерферометра будут располагаться в вершинах прямоугольника *ABED* (ромба или параллелограмма).

Из сказанного ясно, что при юстировке можно добиваться расположения полюса строго в бесконечности (элементы строго параллельны) или на каком-то конечном расстоянии (параллельность элементов нарушается); практически второй метод оказывается проще.

При юстировке обычно обеспечивают возможность линейного перемещения одного из зеркал; помимо этого, для того чтобы привести нормали всех элементов в одну плоскость и направить все элементы в полюс, необходимо иметь возможность вращать все элементы вокруг двух взаимно перпендикулярных осей.

Юстировка должна в конечном итоге обеспечить большие точности: например, для прибора с длиной хода 3 *м* $c=1,5$ *мм*, α до $0,1''$. Этот процесс — сложный и длительный.

По А. А. Забелину, юстировка делится на три этапа — предварительную установку, геометрическую юстировку и окончательную юстировку. На этих этапах точность юстировки все время повышается.

Предварительная установка. Эта юстировка обеспечивает основные геометрические размеры прибора, в частности габариты интерференционного поля; устраняет грубые линейные и угловые отклонения элементов, полученные по механической разметке; обеспечивает размеры интерференционного поля без срезания его частями корпуса прибора, оправами зеркал и пластинками.

Обычно угол α доводится до $3 \div 5'$, c — $2 \div 3$ *мм*, Δ — нескольких миллиметров (не более $5 \div 10$). На данном этапе важна быстрота и простота выполнения юстировочных операций без использования аппаратуры.

Юстировка выполняется по схеме рис. 167, *г* примерно следующим образом. Освещение элементов интерферометра производится при помощи коллиматора *I*. Пучки света обеих ветвей интерферометра по выходе из него освещают экран *II*, позволяя контролировать их направление. При правильной юстировке оба пучка должны быть наложены друг на друга и иметь одинаковое направление. Площадь, перекрываемая пучками, должна быть равна площади интерференционного поля.

Сначала световой пучок направляется из коллиматора через разделительную пластинку *А* на зеркало *D*, чтобы их световые диаметры были полностью заполнены светом. Поворачивая пластинку *А*, добиваются, чтобы световой пучок, отраженный от нее, заполнял светом диаметр зеркала *В*; поворотом этого зеркала добиваются того же для пластинки *Е*. Поворотом зеркала *D* добиваются того же для другой ветви интерферометра, т. е. заполнения светом пластинки *Е*.

Поворотами пластинки *Е* добиваются совмещения двух изображений источника света. Это значит, что пучки, идущие от источника света, имеют в пределах возможности визуальной оценки одинаковое направление. Разность хода Δ пучков обеих ветвей интерферометра возникает главным образом в результате появления параметров α и c (рис. 167, *а*). Уменьшая их значения, будем приводить к минимуму и Δ. Обычно на этом данный этап юстировки заканчивается. Интерференционная картина в поле прибора еще не наблюдается.

Геометрическая юстировка. Основная цель данного этапа заключается в дальнейшем повышении точности юстировки (уменьшении α, c и Δ), обеспечивающей появление интерференционной картины. Для этого нужна соответствующая аппаратура. Для повышения точности оценки угла α коллиматор должен иметь сетку с тонким перекрестием. Экран *II* (рис. 167, *г*) заменяется зрительной трубой *I* со значительным увеличением порядка $15 \div 20^{x}$ (рис. 167, *д*). Наблюдение в такую трубу обеспечивает разрешение двух изображений сетки коллиматора под углом $\varepsilon = \frac{60''}{\Gamma}$, т. е. для выбранного увеличения до 3″.

Поскольку линейного смещения c пучков в параллельных лучах заметить нельзя, то для юстировки параметра c коллиматор *I* (рис. 167, *д*) заменяют маркой *К*, расположенной как можно ближе к первой разделительной пластинке прибора. Взяв вместо обычной зрительной трубы трубу с фокусировкой на близкий предмет, оценивают линейное смещение c по расстоянию Δ между двумя изображениями K' и K'' марки *К*.

Уменьшение c достигается смещением зеркала *D* по стрелке *б* (рис. 167, *д*) и может быть доведено до $0{,}1 \div 0{,}05$ *мм*.

Полученные значения α и c позволяют обычно добиться появления в поле зрения прибора интерференционной картины.

Окончательная юстировка. Этот этап юстировки является завершающим. Имея интерференционную картину, полученную геометрической юстировкой, определяют значения остаточных α, c и Δ с большей чувствительностью по форме, ширине и направлению интерференционных полос. На рис. 167, *е* и *ж* даны в качестве примера картины интерференционных полос, соответствующие определенным α, c и Δ. Поворотами любого

элемента прибора доводят интерференционную картину до получения бесконечно широкой полосы нулевого порядка, т. е. приводят интерферометр в исходное положение.

§ 56. Спектральные приборы

Общие сведения

Спектральные приборы в основном предназначаются для количественной или качественной оценки примесей в металлах и сплавах. Приборы весьма разнообразны. По способам наблюдения и регистрации спектров они делятся на три основные группы: спектрографы, спектроскопы и спектрометры. На приборах первой группы регистрация спектров производится на фотопленку или пластинку; на приборах второй группы спектры наблюдаются визуально; на спектрометрах получают развертку спектра во времени.

Основной целью действия спектральных приборов является обеспечение высокого качества спектра при определенной линейной дисперсии и разрешающей способности; весьма важна воспроизводимость результата и светосила прибора.

Характерными узлами спектральных приборов являются диспергирующая система, объектив (коллиматора и зрительной трубы в спектроскопах или фотографической камеры в спектрографах), щель, осветительная система.

Диспергирующими системами являются спектральные призмы и дифракционные решетки или их реплики. Объективы бывают линзовыми (хорошо ахроматизированными) и зеркальными; наибольшее распространение в настоящее время получили приборы с зеркальными объективами и репликами.

К типичным узлам спектральных приборов относится механизм щели, ширина, форма и качество изготовления которых оказывают большое значение на работу спектральных приборов.

Щели бывают с постоянной и переменной шириной Δ (рис. 168, *а* и *в*).

Щели с постоянной шириной изготовляют либо металлическими, либо фотографическим способом на стеклянной пластинке (например, рис. 168, *а*). В некоторых случаях призменные диспергирующие системы вызывают искривление спектральных линий; для компенсации этого явления щель в таких приборах имеет кривизну обратного знака (рис. 168, *а*).

Щели с переменной шириной представляют собой довольно сложный механизм. На рис. 168, *б* дана принципиальная схема работы механизма стандартной щели с переменной шириной.

Щель образуется ножами *1* и *2*, профиль которых в увеличенном виде показан на рис. 168, *в*. Изменение ширины Δ щели достигается симметричным сближением или раздвижением но-

жей по стрелкам *б* (рис. 168, *б*). Ножи *1* и *2* смещаются клином *3*, имеющим поступательное движение по стрелке *а* и соприкасающимся с упорами *4*. Ширина Δ щели прочитывается по шкале барабанчика *6*, вращающегося вместе с винтом *5* при движении клина.

Качество сборки механизма щели должно быть высоким. Разность между фактической шириной щели и отсчетом по барабанчику *6* не должна превышать $\pm 0{,}002$ *мм* при ширине $\Delta = 0{,}01$ *мм* и не быть более 0,006 *мм* при $\Delta = 0{,}35$ *мм*.

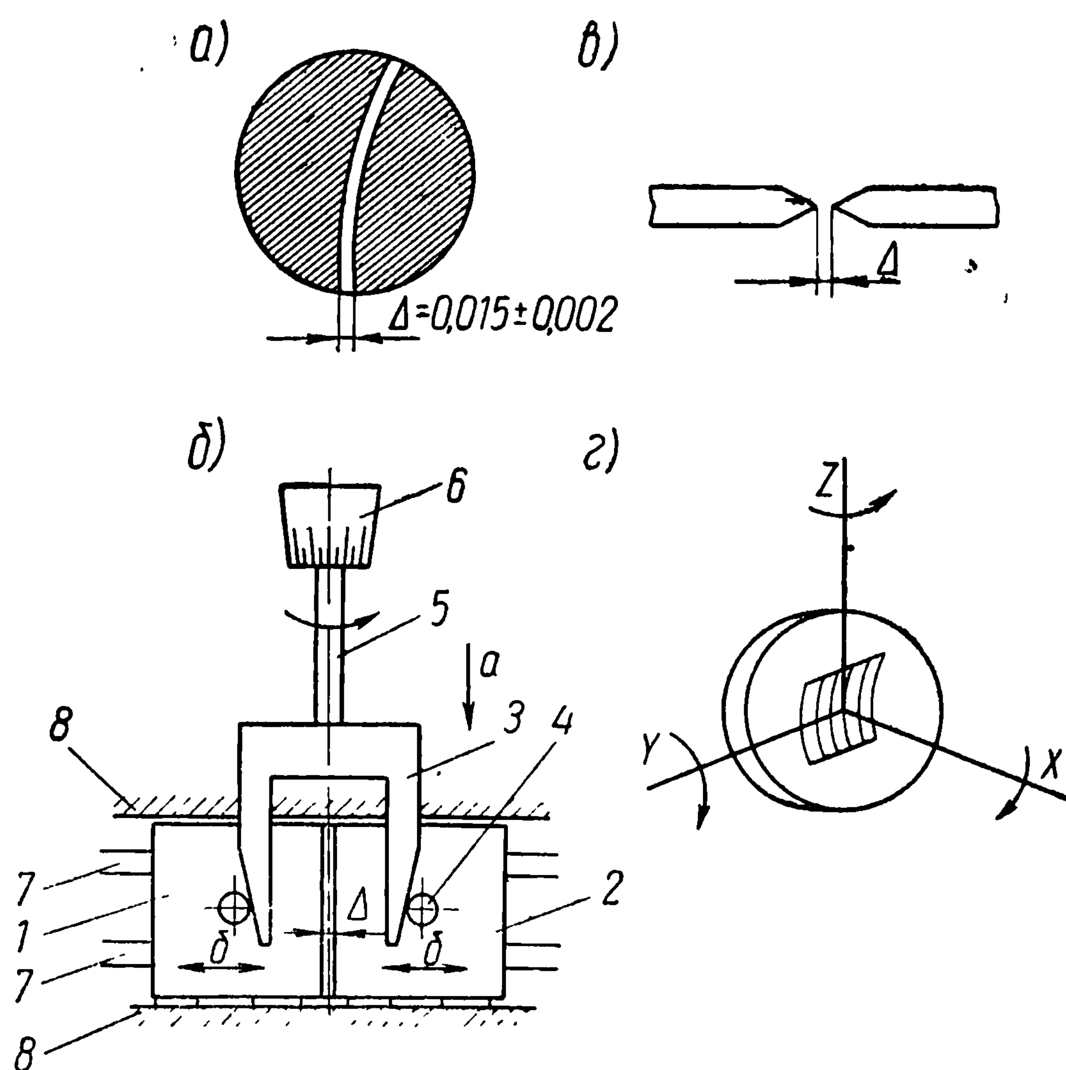


Рис. 168

Повторяемость установки одного и того же размера Δ при раскрытии щели до 0,1 *мм* должна быть в пределах $\pm 0{,}001$ *мм*. Ножи должны иметь плавное движение по направляющим *8* (рис. 168, *б*). Клинья *3* должны плавно скользить по упорам *4*. Для получения высокого качества спектра прибора необходимо, чтобы лезвия ножей перемещались в одной плоскости. Необходимо также, чтобы лезвия ножей были острыми во избежание каких-либо световых отражений от них, так как они могут привести к образованию широких и размытых спектральных линий. Недопустимы зазубрины лезвий ножей и их загрязненность. Чтобы кромка лезвий ножей не портилась, предусматриваются специальные пружины, не позволяющие оказывать сильного давления лезвий ножей друг на друга. Закрытие щели должно происходить одновременно по всей высоте щели.

При загрязненности щели на спектре обнаруживаются черные горизонтальные полосы.

Основная задача юстировки любого спектрального прибора заключается в получении расчетных оптических характеристик, обусловленных выбранной оптической схемой.

Высокое качество спектра достигается расположением диспергирующей системы в параллельных пучках лучей, обеспечением расчетных углов падения лучей на оптические детали прибора, правильностью формы и ширины щели, полным заполнением светом оптической системы. Для достижения этой же цели призмы должны устанавливаться в положение наименьшего угла отклонения лучей для определенной длины волны света, в котором желательно получить наилучшее качество изображения; при этом получается наименьшее искривление спектральных линий и минимальный астигматизм.

Улучшению качества изображения системы способствует и применение в спектральных приборах зеркальных объективов с асферическими поверхностями. Для уменьшения комы такие зеркала устанавливаются так, чтобы лучи отражались внеосевой зоной зеркала.

В соответствии с изложенным можно выделить следующие основные юстировки спектральных приборов:

1) установка щели в фокальной плоскости объектива коллиматора;

2) совмещение плоскости спектра с фокальной плоскостью окуляра в спектроскопах или плоскостью фотопленки в спектрографах;

3) совмещение оптических осей входного и выходного коллиматоров с плоскостью главного сечения диспергирующей системы (горизонтальная плоскость);

4) установка диспергирующей призмы (как правило, в положение угла наименьшего отклонения для определенной длины волны);

5) установка дифракционной решетки (реплики) в рабочем порядке спектра по отношению трех координатных осей (рис. 168, *г*); разворот решетки вокруг оси X позволяет установить спектр относительно выходной щели по высоте в начале и конце диапазона спектра; поворот вокруг оси Y позволяет поднять или опустить спектр относительно выходной щели; разворот относительно оси Z дает возможность привести свет заданной длины волны на выходную щель и согласовать ее со шкалой длин волн;

6) установка щели параллельно штрихам дифракционной решетки или преломляющему ребру призмы;

7) обеспечение полного и равномерного заполнения светом диспергирующей системы и объектива с помощью осветительной системы;

8) согласование шкалы длин волн (или частот) с поворотами диспергирующей системы при переходе от одной области спектра к другой.

Порядок юстировок и их точность определяются типом прибора и требованиями, предъявляемыми к нему.

Рассмотрим в качестве примеров юстировки образцов указанных выше групп приборов: спектрографов (ИСП-30), спектроскопов (стилоскоп СЛ-11А), спектрометров (спектрофотометр СФД-2).

Спектральные приборы достаточно сложны конструктивно и в юстировке, поэтому описание этих процессов дается несколько сокращенно.

Спектрограф ИСП-30

Прибор служит для количественного и качественного спектрального анализа металлов, сплавов, руд и пр. Анализируемый спектр получают от излучения в виде дугового или искрового разряда между электродами, один из которых является испытуемым образцом. Регистрация спектра производится на фотопластинку.

На рис. 169 дана оптическая схема спектрографа. Конденсорная система (рис. 169, *а*), состоящая из трех конденсоров *2, 3* и *4,* концентрирует свет от электродов *1* в щель *5*, установленную в фокальной плоскости зеркального объектива *6* коллиматора (на рис. 169, *а* не показан). Отраженные от него параллельные пучки лучей разлагаются по длинам волн призмой Корню *7* и собираются объективом *8* (при помощи зеркала *9*) в его фокальную плоскость, совпадающую с фотопластинкой *10*.

Конденсоры *2* и *3* (рис. 169, *б*) устанавливаются на рельс *11*, связанный с корпусом *12* спектрографа при помощи оси *13*, относительно которой рельс может поворачиваться по стрелке *а*. Это удобно для юстировки освещения щели и оптики прибора.

Основной юстировочной базой прибора является плато *14* основания спектрографа, на котором крепятся основные узлы прибора.

Механизм щели был описан выше. Для удобства фокусировки при юстировке щель имеет микрометренное перемещение вдоль оптической оси (по стрелке *в*, рис. 169, *б*); щель может также поворачиваться относительно оптической оси прибора.

Основные элементы юстировки спектрографа были указаны выше. В данном приборе юстировка разделяется на два этапа: предварительную и окончательную.

Предварительная юстировка. На этом этапе обеспечиваются: 1) углы α, β и γ (рис. 169, *а*); 2) соосность осветительной системы и объектива *6*; 3) установка щели *5* в фо-

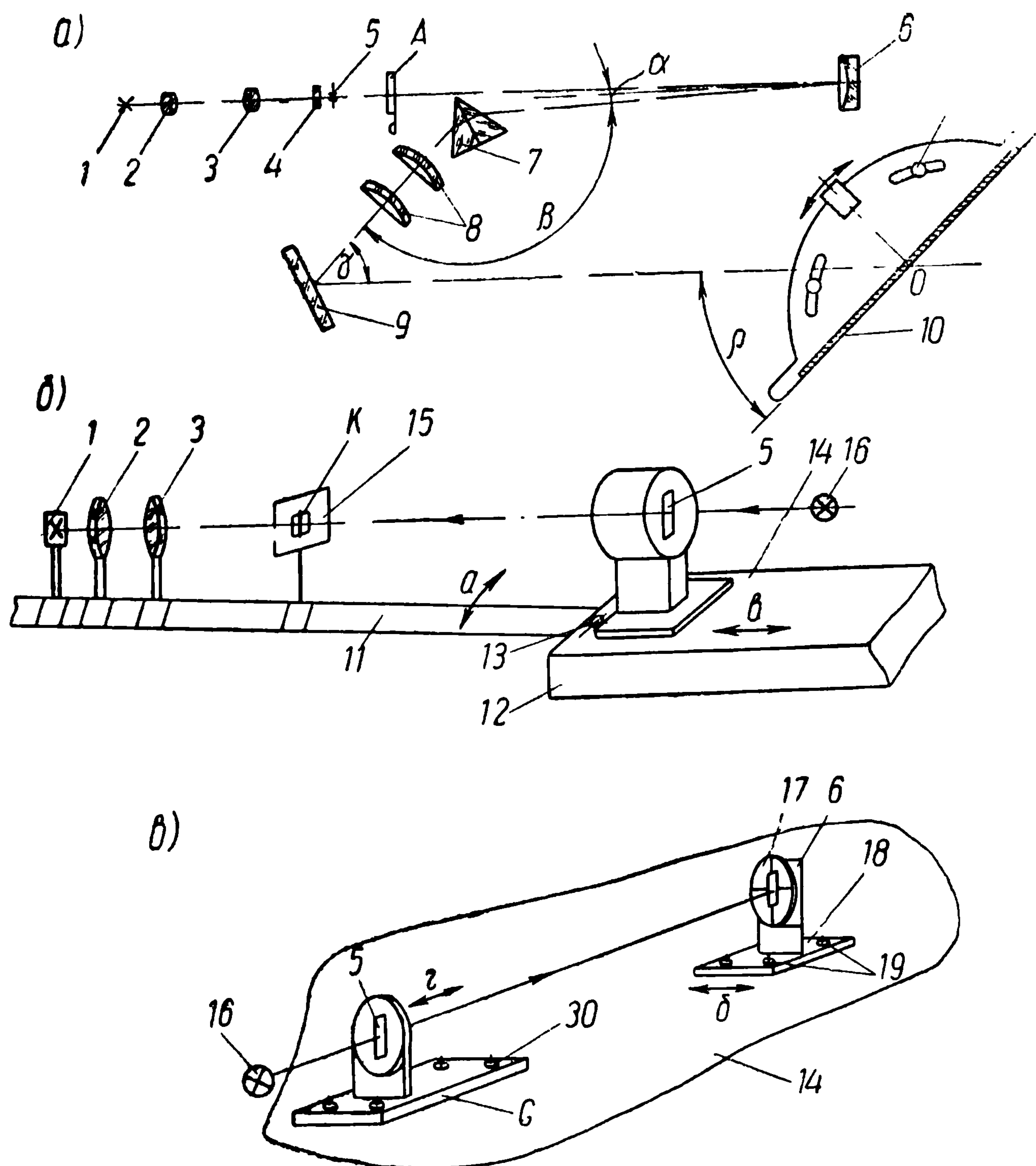


Рис. 169

кальной плоскости объектива *6*; 4) установка диспергирующей призмы *7* на минимум угла отклонения для $\lambda = 2537$ Å; 5) правильное положение спектра на фотопластинке.

Центровка конденсорной системы и объектива *6* коллиматора. Эта юстировка может выполняться различными способами. Например, можно сначала отцентрировать щель *5* и объектив *6*, а потом по ним установить рельс *11* относительно корпуса *12* (рис. 169, *б*), т. е. направление оси конденсорной системы. Можно также сначала установить рельс с конденсорами, а затем соосно с ними объектив *6*. В последнем случае поступают так. Закрепляют рельс *11* в предварительном положении. Установив на его конец рейтер с экраном *15*, имеющим вертикальную риску *К*, освещают открытую щель лампочкой *16*, отцентрированной относительно щели (рис. 169,*в*). Поворотом рельса вокруг оси *13* болта добиваются, чтобы световое пятно расположилось симметрично относительно риски *К* экрана *15*. В этом положении рельс закрепляют.

Надевают на объектив *6* насадку *17* (рис. 169, *в*) с перекрестием, центр которого соответствует центру зеркала объекти-

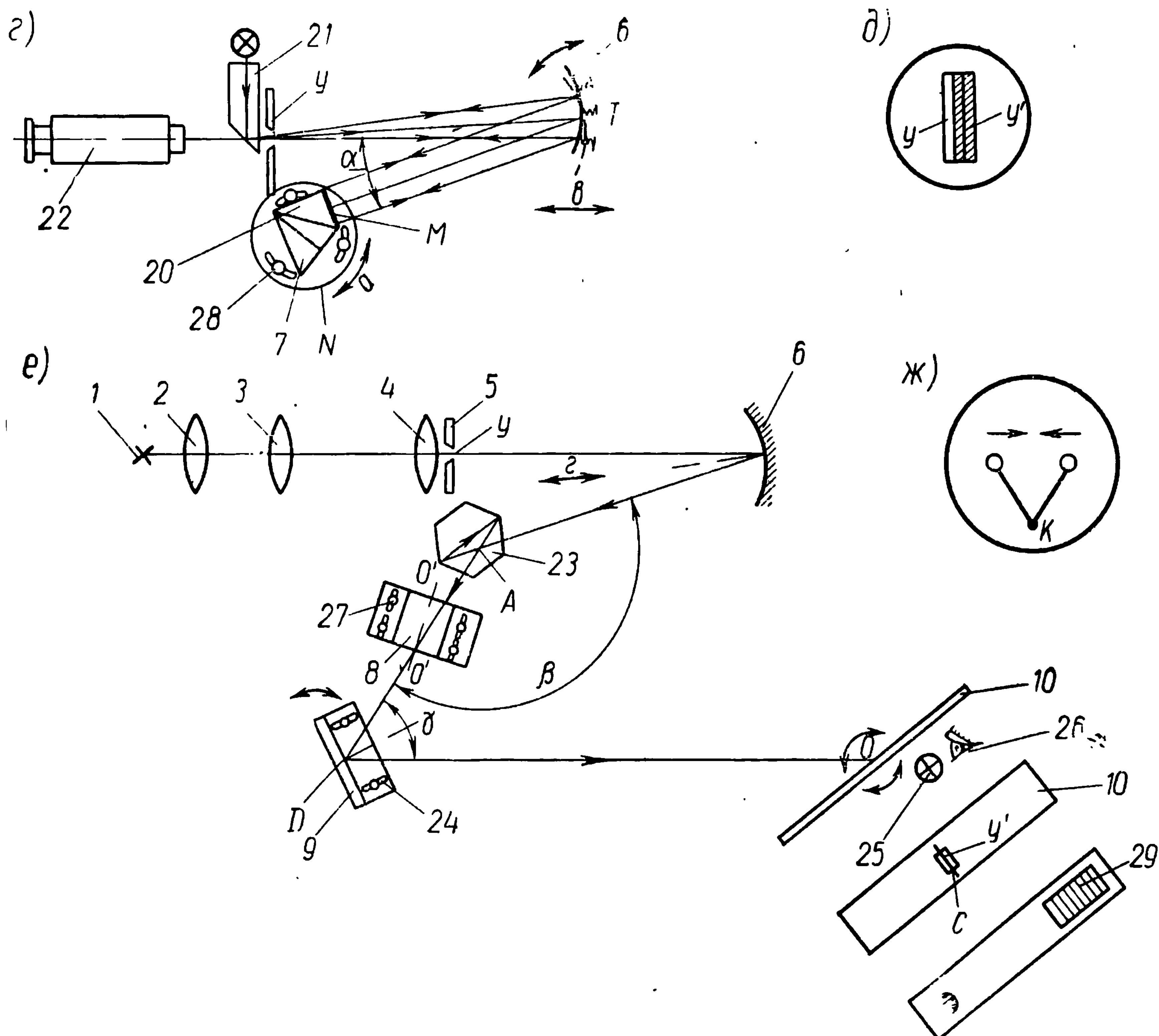


Рис. 169. *Продолжение*

ва *6*. Освещая щель *5* лампочкой *16*, перемещают (по стрелке *б*) кронштейн *18* с зеркалом так, чтобы световой пучок, идущий от щели, был симметричен перекрестию насадки. После этого кронштейн зеркала укрепляют болтами *19* (рис. 169, *в*). Лампочка должна быть центрирована относительно щели.

Обеспечение предварительного угла α — излома оси коллиматора — и установка щели *5* в фокальной плоскости зеркала *6* коллиматора (рис. 169, *г*). На входную грань призмы *7* Корню помещают (ставят на «оптический контакт») вспомогательную призму *20*, грань *М* которой покрыта зеркальным слоем и должна быть строго нормальна к основанию *N* призмы (проверяется автоколлимационной трубкой). На щель крепится автоколлимационная насадка *21* с лампой накаливания и призмой. Разворотом зеркала *6* при помощи трех винтов *Т* добиваются полного заполнения светом входной грани вспомогательной призмы.

Поворотами призм совмещают автоколлимационное изображение *y′* щели, даваемое гранью *M* призмы, с самой щелью *y* (рис. 169, *д*). Установив со стороны автоколлимационной насадки микроскоп *22*, добиваются перемещением вдоль оптической оси узла объектива *6* (освободив винты *19*) по стрелке *в* совпадения изображения щели с самой щелью по глубине, т. е. одинаковой резкости; это будет в том случае, если щель окажется в фокальной плоскости объектива. При этом необходимо, чтобы изображение *y′* щели было несколько сдвинуто относительно самой щели *y*, а микроскоп сфокусирован на щель. Проверив центрировку зеркала *6*, закрепляют кронштейн *18* зеркала *6* винтами *19* (рис. 169, *в*).

Для обеспечения окончательной установки объектива *8* камеры (см. окончательную юстировку) корпус щели должен быть в некотором среднем положении, позволяющем перемещать его при окончательной фокусировке в разные стороны.

Обеспечение угла β между осями коллиматора и объектива *8* камеры (рис. 169, *е*). Снимают призму *7* Корню. На ее место ставится пентапризма *23*, отклоняющая ось на угол β. Объектив *8* ставится в среднее положение, при котором изображение *y′* щели *y* должно совпасть с матовым стеклом *10*, устанавливаемым в кассету и имеющим вертикальную риску *C*, совпадающую с осью *O* вращения кассеты. Убрав автоколлимационную насадку *31* (рис. 169, *г*), освещают щель *y* любым источником света посредством конденсорной системы *2* и *3* и поворотом кронштейна *24* зеркала *9* совмещают изображение *y′* щели *y* с риской *C* матового стекла *10* (рис. 169, *е*).

Очевидно, что это возможно при произвольном положении объектива *8*, когда его ось *O′O′* может и не совпасть с направлением луча *AD*, образующего угол β.

Совмещение оси *O′O′* объектива с лучом *AD* (или параллельность их) осуществляется следующим образом. Устанавливают лампочку *25* (рис. 169, *е*) за матовым стеклом *10*. Поместив глаз *26* возле лампочки, добиваются перемещениями узла объектива *8* совмещения изображения *y′* щели с риской *C* на матовом стекле и одновременно сведения в один двух бликов *K* (рис. 169, *ж*) изображений лампочки от передней и задней поверхностей линз объектива. После этого объектив закрепляется винтами *27*.

Установка призмы Корню с обеспечением угла минимального отклонения для лучей с $\lambda = 2537$ Å. Сняв призму *23* (рис. 169, *е*), ставят призму Корню *7* с надетой на нее вспомогательной призмой *20* (рис. 169, *г*). Эта призма рассчитана так, что, когда призма Корню будет установлена на минимум угла отклонения для $\lambda = 2537$ Å, автоколлимационное изображение щели совпадет с самой щелью. Закрепив опять автоколлимационную насадку *21* и установив микроскоп

22, добиваются поворотом призмы Корню совмещения изображения щели с самой щелью, т. е. повторяют юстировку, описанную выше. Затем окончательно закрепляют узел призмы винтами *28* и снимают вспомогательную призму *20*, микроскоп *22* и автоколлимационную насадку *21*. Освещают щель ртутно-кадмиевой лампой и наблюдают спектр на матовом стекле *10*. Юстировочными винтами (на рис. 169, *е* не показаны) узла зеркала *9* добиваются, чтобы спектр *29* не срезался матовым стеклом *10*. Кронштейн механизма щели крепится винтами *30* (рис. 169, *в*). Затвор *А* устанавливается на плато *14* по разметке при помощи винтов (на рис. 169, *а* не показаны). Кронштейн плоского зеркала *9* фиксируется винтами *24*.

Окончательная юстировка

На этом этапе юстируется осветительная часть прибора и выполняется точная установка объектива *8* относительно фотопластинки *10*.

Юстировка осветительной части решает две задачи — правильное расположение источника света *1* (рис. 169, *а*) относительно совмещенных осей конденсора и коллиматора *5—6* и правильное освещение щели *5* и объектива *8* камеры. При неправильном положении источника света возможно искажение интенсивности линий спектра, а иногда и кажущееся раздвоение линий.

Для установки источника света поступают примерно так. Штатив для электродов *1* приближается по рельсу *11* (рис. 169, *б*) близко к щели *5* и электроды устанавливаются против перекрестия на крышке щели. Установив между электродами нужное расстояние, проверяют правильность их положения. Отодвинув штатив с электродами на расчетное расстояние от щели вдоль рельса, раскрывают широко щель и включают дугу. Сняв кассету, наблюдают глазом *26* (рис. 169, *е*), расположенным с правой стороны кассеты, где помещается видимая часть спектра, изображение электродов на объективе *8*. При правильной установке электродов изображение их должно находиться несколько правее относительно его центра и не смещаться при перемещении электродов по рельсу.

Юстировка конденсоров *2, 3* и *4* (рис. 169, *а* и *б*) заключается в следующем. Источник света *1* проецируется линзой *2* на диафрагму (на рисунках не показана), закрепленную на оправе конденсора *3*, проектирующего уменьшенное изображение конденсора *2* на щель *5*. Изображение диафрагмы на конденсоре *3* проецируется конденсором *4* в плоскость объектива *8*, заполняя его светом.

Точная установка объектива *8* камеры должна обеспечить совмещение изображения спектра с фотопластинкой *10*, накло-

ненной к оси камеры на угол ρ. Для этого перемещают объектив *8* так, чтобы центр плоскости изображения спектра совпал с центром фотопластинки, и поворачивают кассету вокруг оси *О* (рис. 169, *а*) до совмещения плоскости фотопластинки с плоскостью спектра. Поскольку узел объектива не имеет точной подвижки, то она осуществляется перемещением щели по стрелке *г* (рис. 169, *е*) при помощи специального винта при неподвижном корпусе *G* щели. Смещая щель и отсчитывая смещение по специальному барабанчику, делают серию пробных снимков дугового спектра (например, железа). Добившись резкого изображения спектра в центре пластинки, фиксируют щель и объектив *8* (если он смещался) и, поворачивая кассету относительно оси *О*, добиваются хорошего качества снимка в пределах всей пластинки. Это положение кассеты фиксируется винтами *Н* (рис. 169, *а*).

Стилоскоп СЛ-11А

Этот прибор относится к группе спектроскопов и служит для быстрого визуального качественного и полуколичественного спектрального анализа цветных сплавов и сталей в видимой области спектра. Он построен по автоколлимационной схеме.

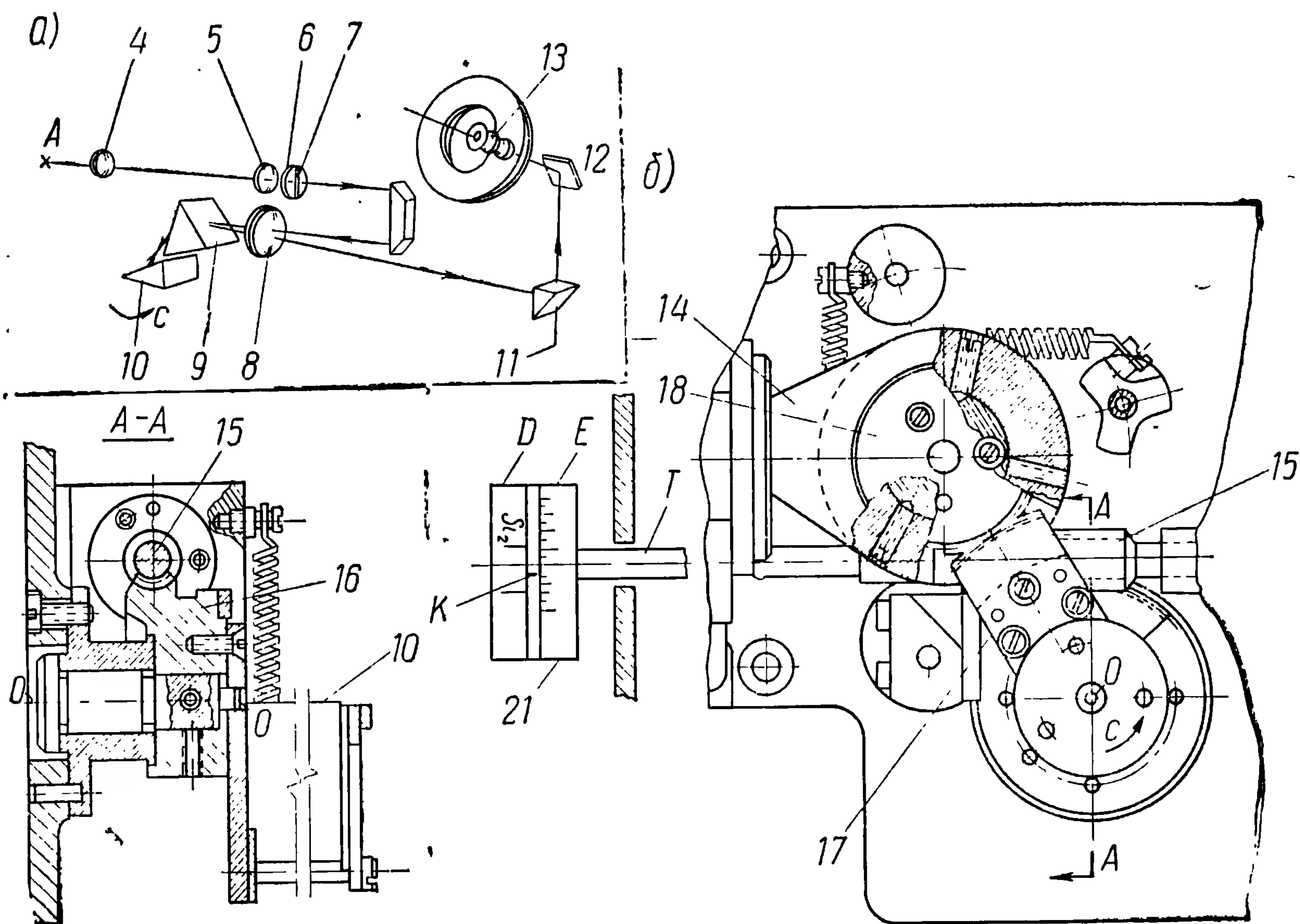


Рис. 170

Источником света *А* (рис. 170, *а*) является электрическая дуга *1* (или искра), образуемая между постоянным электродом *2* и анализируемым образцом *3* (рис. 171). Свет направляется

конденсорной системой *4, 5, 6* (рис. 170, *а* и 171) в щель *7* постоянной ширины, установленной в фокальной плоскости объектива *8*. Выходящие из объектива параллельные пучки лучей проходят диспергирующую систему призм — неподвижную *9* и поворачивающуюся *10* (по стрелке *с*) относительно оси *О* (рис. 170, *б*). Грань *ММ* призмы *10* (рис. 170, *а* и 171) является автоколлимационным зеркалом и отражает диспергированные пучки лучей обратно в объектив *8;* последний при помощи призмы *11* и зеркала *12* направляет лучи в фокальную плоскость

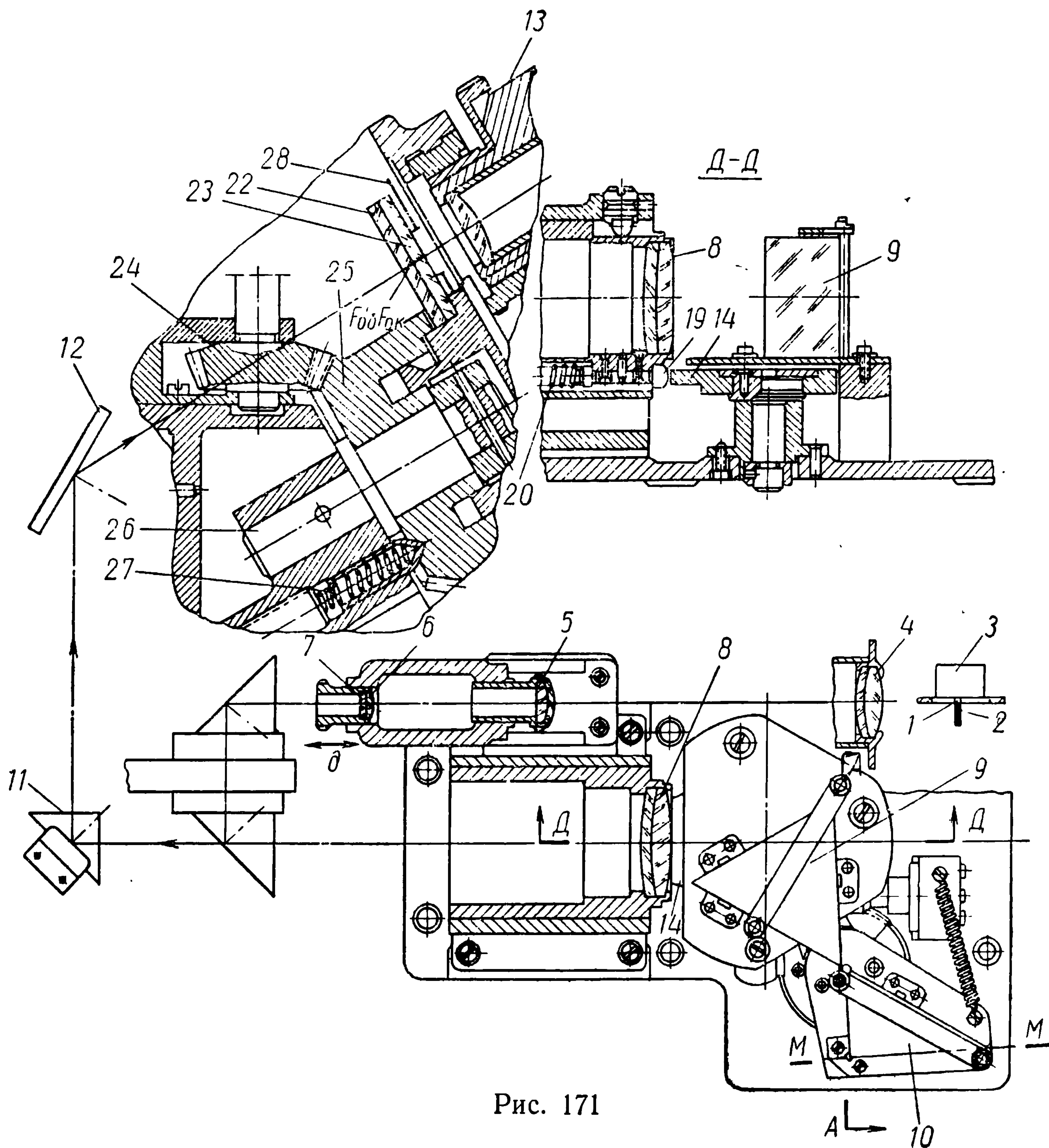


Рис. 171

объектива, совмещенную с фокальной плоскостью окуляра *13* (рис. 171), где наблюдается анализируемый спектр; при повороте призмы *10* спектр будет перемещаться в поле зрения окуляра по стрелке *п* (рис. 172, *а*). Поскольку при этом будет

происходить расфокусировка спектра (фокусное расстояние объектива для различных длины волн неодинаково), то для ее устранения объектив автоматически смещается в нужную сторону. Это достигается кулачком *14* (рис. 171 и 172, *в*); поворот призмы *10* посредством червячной пары *15* и *16* передается сектором *17* колесу *18*, связанному с кулачком *14* (рис. 170); при повороте кулачок вызывает смещение упора *19*, связанного с оправой объектива *8*. Упор постоянно прижат к кулачку пружиной *20* (рис. 171).

Поворот призмы *10* связан с барабаном *21*, закрепленным на валу *T* (рис. 170, *б*), который соединен с червяком *15*. Барабан *21* имеет шкалу *D* с символами химических элементов и шкалу *E* с ценой деления в градусной мере. При совмещении символа элемента шкалы с отсчетным штрихом *K* в поле зрения

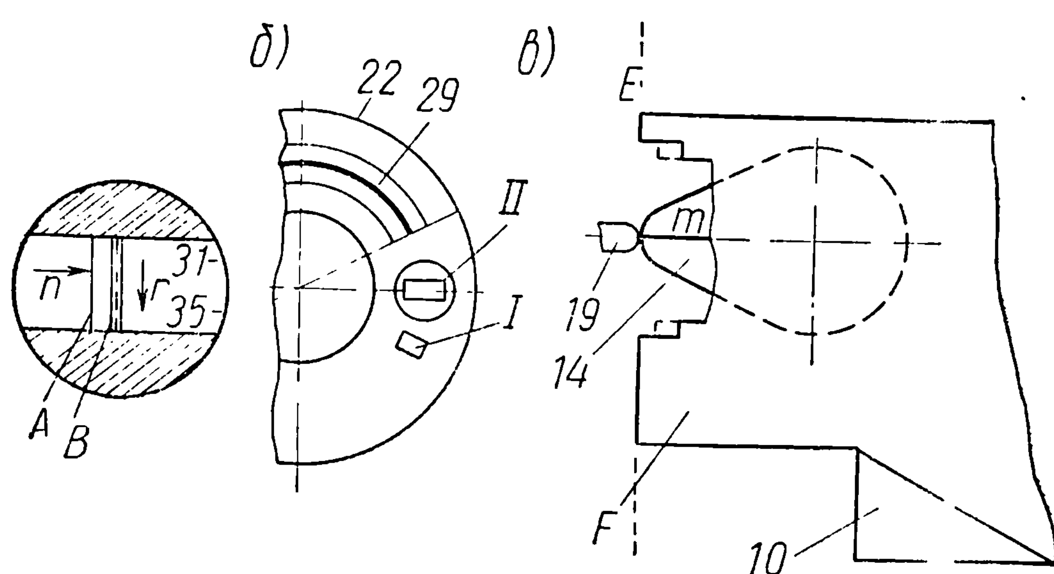


Рис. 172

окуляра должна появиться соответствующая группа линий спектра.

Ограничение поля зрения осуществляется диафрагмами *I* и *II* (рис. 172, *б*), образованными в виде прямоугольных окошек в слое, нанесенном на пластинке *22*, заклеенной пластинкой *23* (рис. 171). Плоскость диафрагм должна совпадать с совмещенными фокальными плоскостями $F'_{об}$ и $F_{ок}$ объектива и окуляра. При смене окуляра пластинки поворачиваются посредством шестерен *24* и *25* вокруг оси *26*. Положение диафрагм фиксируется защелкой *27*. Для устранения засветки поля перед пластинками *22* и *23* помещается металлическая прямоугольная диафрагма *28*.

Для количественной оценки спектра используется фотометрический клин *29* переменной плотности (рис. 172, *б*), нанесенный в виде полоски с шириной 0,2±0,05 на пластинке *22*. При помощи шестерен *24* и *25* клин вводится в поле зрения и перемещается сверху вниз (по стрелке *r*, рис. 172, *а*). Если надо сравнить плотности линий спектра, например *A* и *B*, то совмещают наиболее яркую линию с клином и, перемещая его, уравнивают интенсивности обеих линий. Процент пропускания от-

считывается по шкале в поле зрения, нанесенной на пластинке с клином.

Юстировка стилоскопа сходна с юстировкой спектрографа и описывается кратко. Прибор юстируется примерно в следующей последовательности. Диспергирующие призмы устанавливаются в предварительное положение: неподвижная *9* по разметке, подвижная — при помощи шаблона *F* относительно оправы *E* объектива *8* (рис. 172, *в*), кулачок *14* устанавливается по оси упора *19* против риски *m*.

Перемещением конденсорных линз добиваются освещения щели. Наклонами и поворотами призмы Дове, неподвижной диспергирующей призмы *9* (рис. 171) и зеркала *12* последовательно добиваются их полного заполнения светом.

Устанавливается узел с клином. Окуляр выставляется в нулевое положение относительно плоскости диафрагм *I* и *II* диска *22* (рис. 171). Осевым перемещением узла щели *7* (по стрелке *д*, рис. 171) и объектива *8* добиваются совмещения спектра с плоскостью диафрагм диска. Если при перемещении спектра наблюдается параллакс на его краях, то он устраняется разворотом неподвижной призмы *9* и разворотом кулачка *14*, изменяющего величину перефокусировки объектива при смещении спектра. Согласование шкал *D* и *E* барабанчика *21* (рис. 170, *б*) со спектром осуществляется разворотом сектора *17* относительно колеса *18*.

Спектрофотометр СФД-2

Прибор служит для измерения коэффициента пропускания жидких и твердых веществ. Оптическая схема — автоколлимационная. Принципиальная схема прибора показана на рис. 173, *а*. Свет от лампы *1* или *2* направляется зеркальным конденсором *3* и зеркалом *4* в верхнюю входную часть щели *6*, перед которой установлена кварцевая линза *5*, необходимая для сужения пучка лучей. Щель установлена в фокальной плоскости зеркального параболического объектива *7*, и лучи, падающие из щели на объектив *7*, направляются им параллельным пучком на реплику дифракционной решетки *8*, разлагающей белый свет в спектр по длинам волн. Лучи, отраженные репликой, направляются объективом *7* в нижнюю (выходную) часть щели *6*; в щель попадает свет такой длины волны, для которой угол дифракции равен углу падения лучей на реплику. Вращая реплику относительно ее вертикальной оси, изменяют угол падения лучей и, следовательно, длину волны света, идущую в нижнюю часть щели. После щели лучи проходят кварцевую пластинку *9* и сменный светофильтр *10*, который служит для уменьшения величины рассеянного света или для устранения попадающих на щель спектров высоких порядков. Далее лучи проходят линзу *11*, эталон или испытуемый образец *12*, линзу

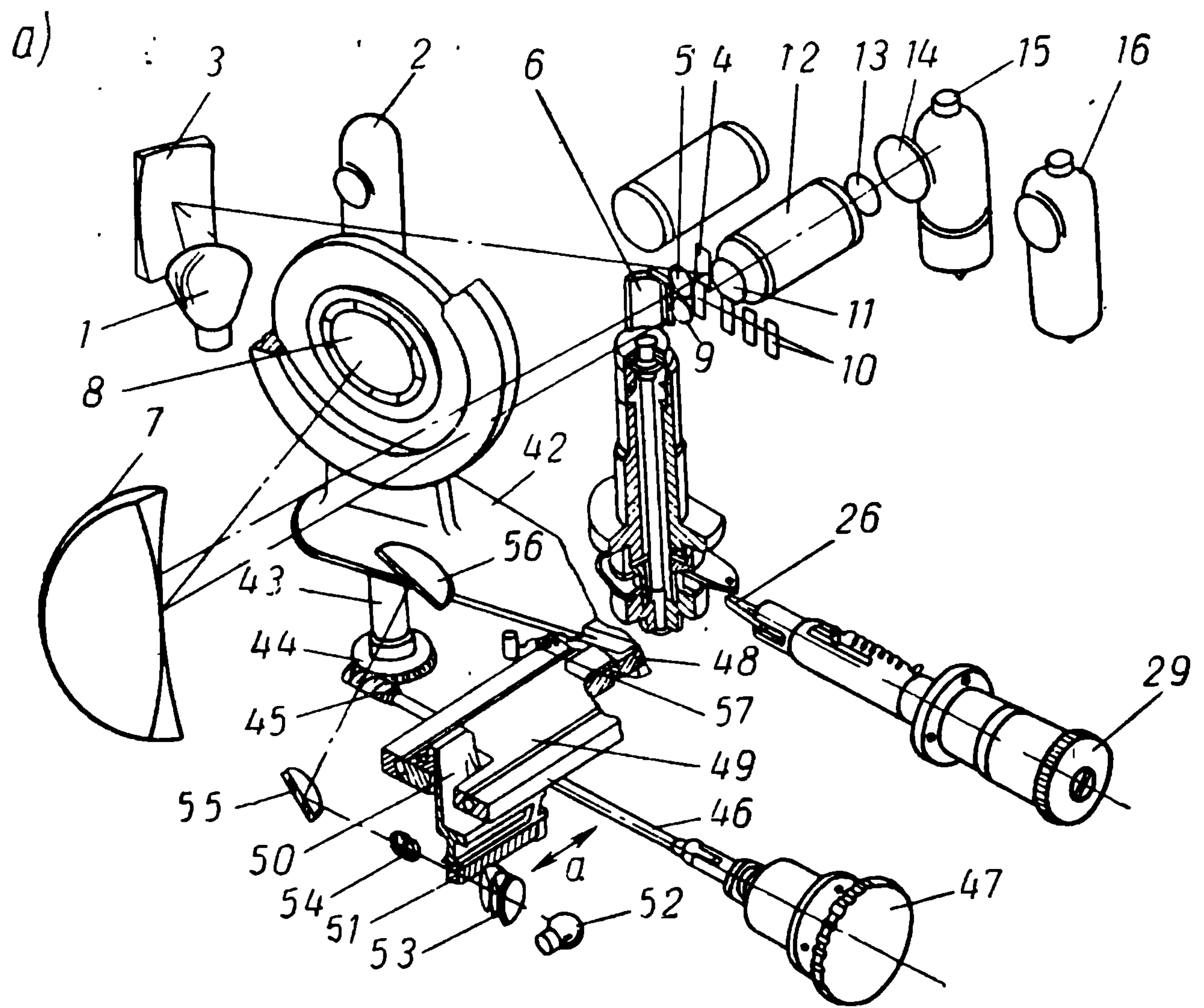


Рис. 173

13, защитную пластинку *14* камеры фотоэлементов и падают на катод фотоэлемента *15* или *16*.

Измерение пропускания определяется по шкале отсчетного потенциометра (на рис. 173, *а* не показан) путем компенсации изменения фототока при поочередном прохождении одного и того же пучка света через эталон и образец.

В качестве источника излучения для работы в области 220÷320 *ммк* применяется водородная лампа *1*; для работы в области 320÷1000 *ммк* используется лампа накаливания *2*. В первом случае приемником излучения является сурьмяно-цезиевый фотоэлемент; во втором — кислородно-цезиевый. Эталон и испытуемый образец устанавливаются в кюветной камере *17* (рис. 173, *б*) при помощи специальных держателей (не показаны); контролируемые жидкости наливаются в кюветы.

Для юстировки прибора устанавливается ртутная лампа *1* (рис. 173); конденсор *3* монтируется в кожухе *18*, связанном с корпусом прибора, и при помощи рукоятки *19* (рис. 174, *а*) устанавливается так, чтобы направлять в прибор свет от лампы *1* (или лампы *2*). Конденсор может юстироваться относительно оси винта *20* при помощи винтов *21* (подробно см. § 37, рис. 90).

Щель состоит из двух ножей *22* и *23* (рис. 174, *б* и 175, *в*), прикрепленных винтами к кронштейнам *24* и *25*. Изменение ширины Δ щели достигается вращением кронштейнов относительно оси *О*. Разворот кронштейнов производится клином *26*, имеющим поступательное движение по стрелке *а*; клин (как и на рис. 168, *б*) раздвигает упоры *27*, связанные с кронштейнами. Движение клину сообщается микрометренным винтом *28* при помощи маховичка *29* (рис. 173, *а* и 174, *б*); отсчет ширины Δ щели производится по шкале, закрепленной на барабанчике.

Лезвие ножа выполнено по окружности с радиусом 1800 *мм* (что с преувеличением показано на рис. 175, *в*), учитывая кривизну спектра. Риска *б* делит всю щель на две части: верхнюю — входную и нижнюю — выходную; риски *а* и *в* соответствуют срединам этих щелей, совпадающим с оптическими осями системы. Разделение щели на входную и выходную практически осуществляется диафрагмой *30* (см. рис. 173, *б*). Для предохранения щели от постороннего света предусмотрен кожух *31* (см. рис. 174, *б*).

Параболическое зеркало — объектив *7* (рис. 175, *а*) — смонтировано в узле кронштейна *32*, установленного на основании *33* корпуса прибора. Оправа *34* зеркала может перемещаться по стрелке *б* от винта *35* при установке щели в фокальной плоскости объектива и поворачиваться по стрелке *с* (рис. 175, *б*) при юстировке объектива относительно реплики. Поворот достигается винтами *36* относительно кронштейна *32*, связанного с обоймой *37* винтами *38*.

Реплика *8* (рис. 173, *а* и 174, *б*) закреплена в оправе на кронштейне *39* винтами *40*; пазы в кронштейне позволяют разворачивать реплику при юстировке. Весь узел реплики установлен на столике *41*, связанном с рычагом *42*. Для изменения угла дифракции столик с репликой поворачивается вместе с вер-

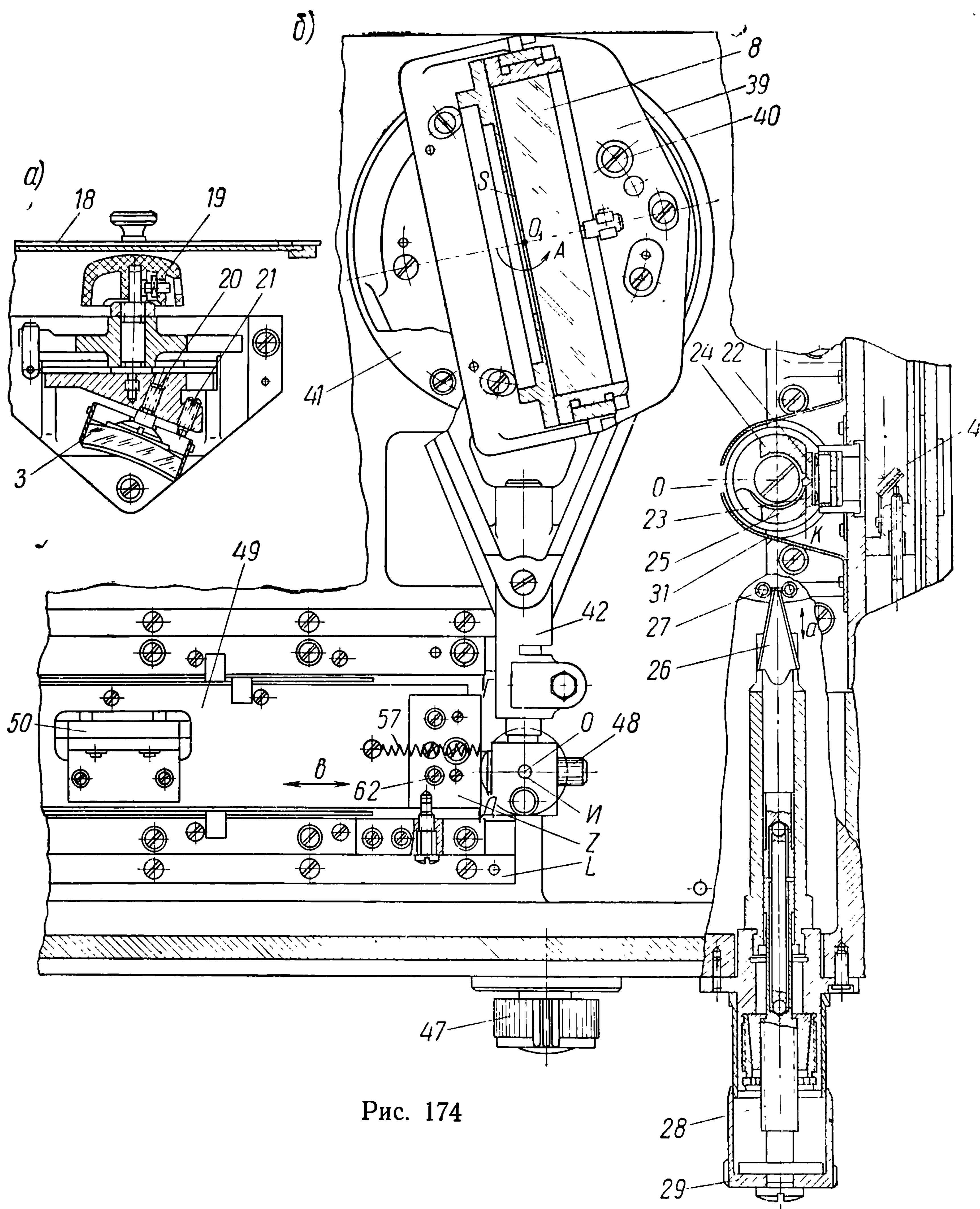


Рис. 174

тикальной осью *43* (рис. 173, *а*) и шестерней *44* при помощи червяка *45* карданного валика *46* от рукоятки *47*. При повороте реплики рычаг *42* при помощи винта *48* (рис. 174, *б*) со сферической головкой сообщает поступательное движение (по стрел-

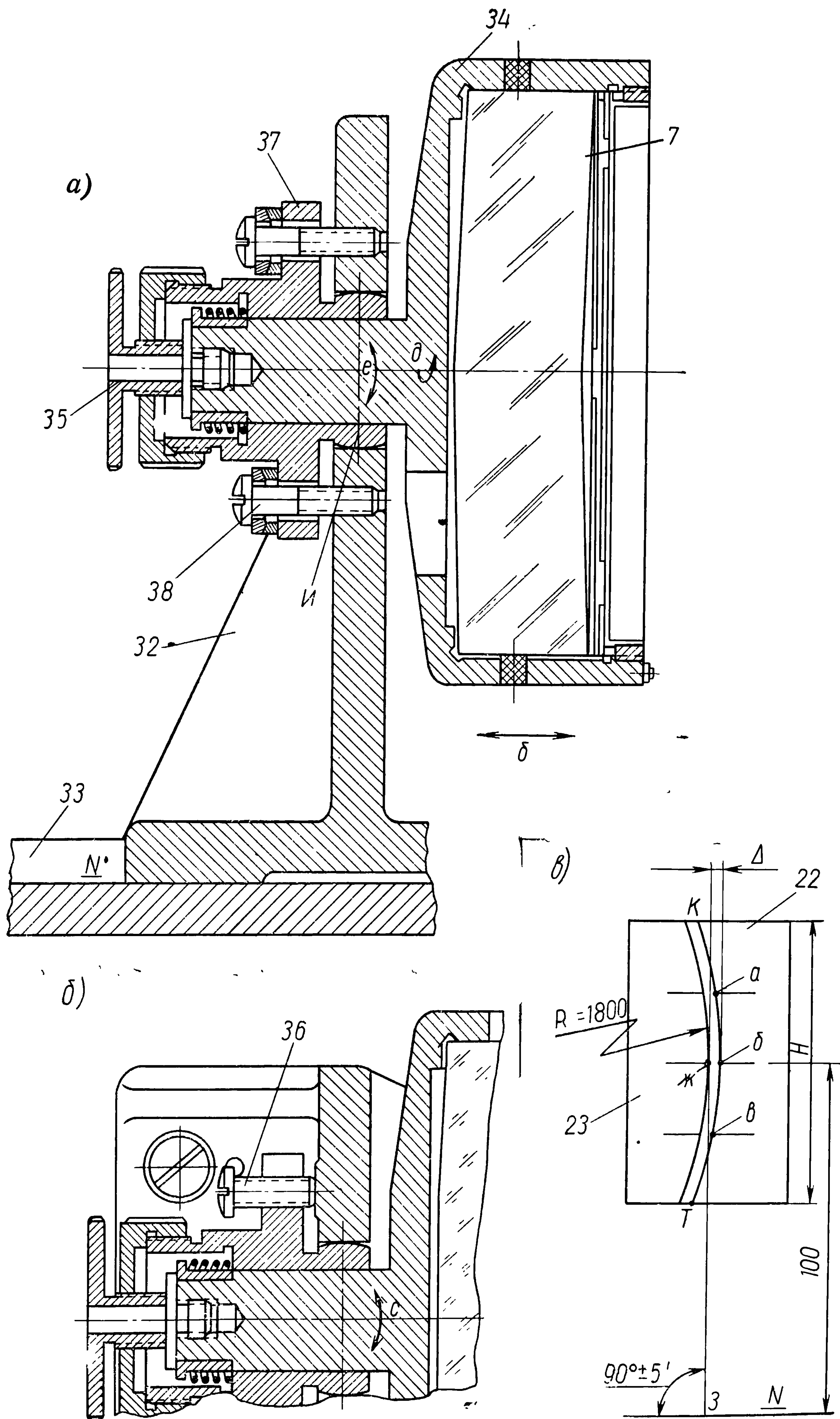


Рис. 175

ке *в*) каретке *49*, несущей узел *50* со шкалой *51* длин волн (см. рис. 173). Пружина *57* прижимает каретку *49* к винту *48*.

При помощи лампочки *52*, осветительной системы *53*, *54* и зеркала *55* (рис. 173, *а*) изображение шкалы проецируется на экран *56* с индексом *К* (рис. 176, *в*).

При юстировке прибора горизонтальной базой является обработанная поверхность *N* основания корпуса прибора, вертикальной базой является боковая поверхность *М* корпуса, к которой крепится кюветная камера *17* (рис. 173, *б*).

При сборке прибора выполняются следующие основные юстировочные операции: 1) установка щели вертикально; 2) юстировка осветительной системы; 3) установка объектива; 4) установка реплики; 5) юстировка оптической системы, освещающей шкалу длин волн; 6) согласование шкалы длин волн со спектром.

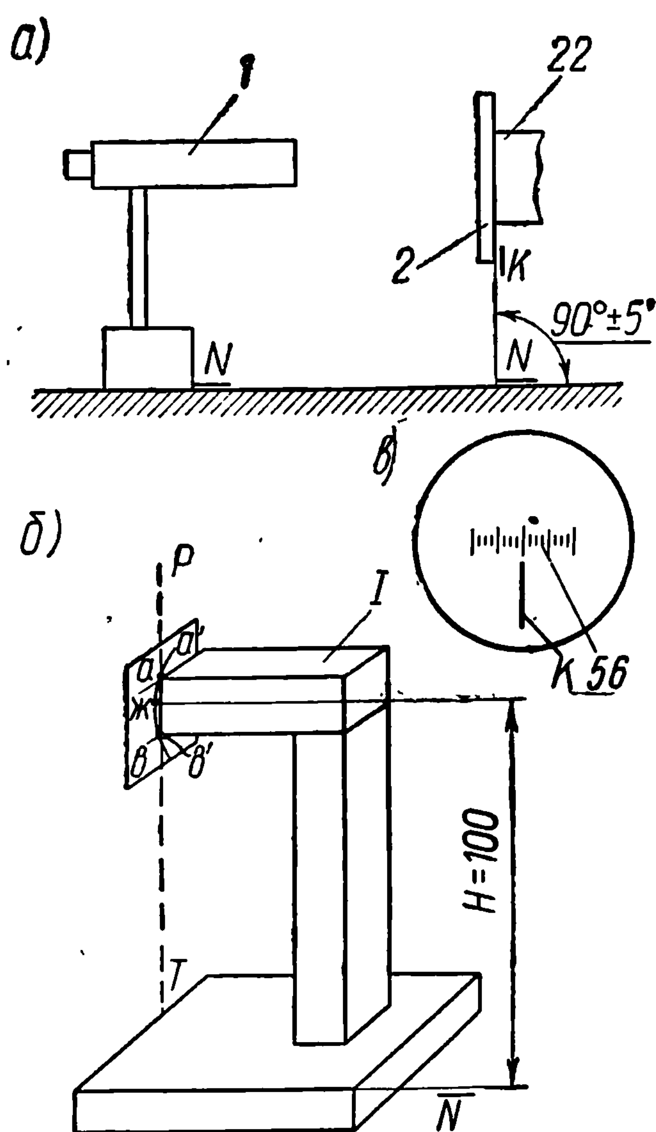


Рис. 176

Установка щели. Для нормальной работы щели необходимо выполнить ряд условий:

1) плоскости *К* кронштейнов *24* и *25* (рис. 173,*б* и 174,*б*), к которым крепятся ножи *22* и *23*, должны быть перпендикулярны горизонтальной базе прибора с точностью ±5′. Это условие выполняется путем шабровки поверхности *К*. Контроль осуществляется при помощи автоколлимационной трубки *1* (рис. 176,*а*), ось которой строго параллельна горизонтальной базе *N* прибора и зеркала *2*, прикладываемого к пришабренным поверхностям *К* кронштейнов *22* и *23*;

2) хорда *PT* (рис. 176, *б*), проходящая через точки *а* и *в* щели (см. рис. 175, *в*), находящиеся на равном расстоянии от ее средней точки *ж*, должна быть перпендикулярна горизонтальной базе с точностью до ±5′; расстояние *H* от точки *ж* до плоскости *N* основания должно составлять 100 *мм*. Для этого обе половинки щели сдвигают до соприкосновения. Устанавливают приспособление *I* на базовую поверхность *N* основания и разворотами половинок щелей относительно винтов приводят точки *а* и *в* щели в соприкосновение с аналогичными точками *а′* и *в′* ребра приспособления; оно обеспечивает перпендикулярность ребра *а′в′* горизонтальной базе, нужную высоту *H* щели и совмещение хорды *ав* с хордой *PT*. При помощи микроскопа

с окулярным микрометром проверяется ширина Δ щели (см. рис. 175, *в*), сверяются ее значения, взятые по микроскопу со значениями, получаемыми по шкале *6* барабанчика механизма щели (рис. 168, *б*).

Разность между фактической шириной щели и отсчетом при ширине щели от 0,01 до 0,05 не должна превосходить $\pm 0{,}005$ *мм*, а при Δ до 3 *мм* — $\pm 10\%$ от величины раскрытия.

Юстировка осветительной системы осуществляется при помощи регулировки ламп *1*, *2*, конденсора *3* и зеркала *4* (рис. 173, *а*); она должна обеспечить правильное освещение щели, объектива и реплики при использовании всех трех ламп (накаливания, водородной и ртутной). Для ламп накаливания и водородной на щели должно быть видно изображение источника света с увеличением в пять раз; для ртутной лампы это изображение должно быть размытым, перекрывающим щель на $^2/_3$ ее высоты. Реплика и объектив должны быть освещены полностью и равномерно.

При юстировке вместо реплики ставится экран из белой бумаги (размером 50×50 *мм*). Если прибор закрыт крышкой, то правильность освещения проверяется при помощи экрана, установленного за кюветной камерой *17* на расстоянии примерно 50 *мм*.

Установка параболического зеркала *7* должна обеспечить совмещение его фокальной плоскости с плоскостью щели и положение его относительно вертикальной и горизонтальной осей (рис. 168, *г*). Для этого узел реплики *8* устанавливают по разметке и направляют от лампы *1* световой поток (одна стрелка) при помощи объектива *7* на реплику; последняя разворачивается таким образом, чтобы нулевой порядок спектра попал в щель *6* (рис. 177, *а*). Раскрывают щель до ширины $0{,}05 \div 0{,}1$ *мм*; на риски *а* и *в* (рис. 175, *в*) щели наклеивают волоски. Освещают при помощи лампы накаливания *1* (рис. 177, *а*) верхнюю половину щели. Устанавливают за нижней половиной щели микроскоп *G* и фокусируют его на щель. Перемещением зеркала *7* по стрелке *b* и поворотами его (по стрелке *c*) совмещают изображение верхнего волоска с нижним. В этом положении фокальная поверхность зеркала будет совмещена с плоскостью щели *6*.

Окончательный контроль правильности установки зеркала выполняется по оценке качества изображения точечного объекта диаметром $0{,}02 \div 0{,}03$, помещенного на щель.

Сняв узел реплики, устанавливают на ее место призму *E′* больших размеров с хорошей зеркальной поверхностью *R* ($N=0{,}2$; $\Delta N=0{,}2$)*. Освещая точечное отверстие лампой *1*, получают ее автоколлимационное изображение от призмы, которое

* N и ΔN — соответственно общие и местные ошибки поверхности, выражаемые в интерференциальных полосах и их долях.

должно быть в плоскости нижней щели. Наблюдают качество этого изображения в микроскоп G.

Поворачивая зеркало 7 относительно его оси по стрелке *д* (рис. 175, *а*) и наклоняя его вместе с шаровым фланцем *И* по стрелке *е*, добиваются хорошего качества изображения точки (см. § 12). После этой юстировки возможно смещение зеркала 7 относительно плоскости щели. Оно должно быть исправлено

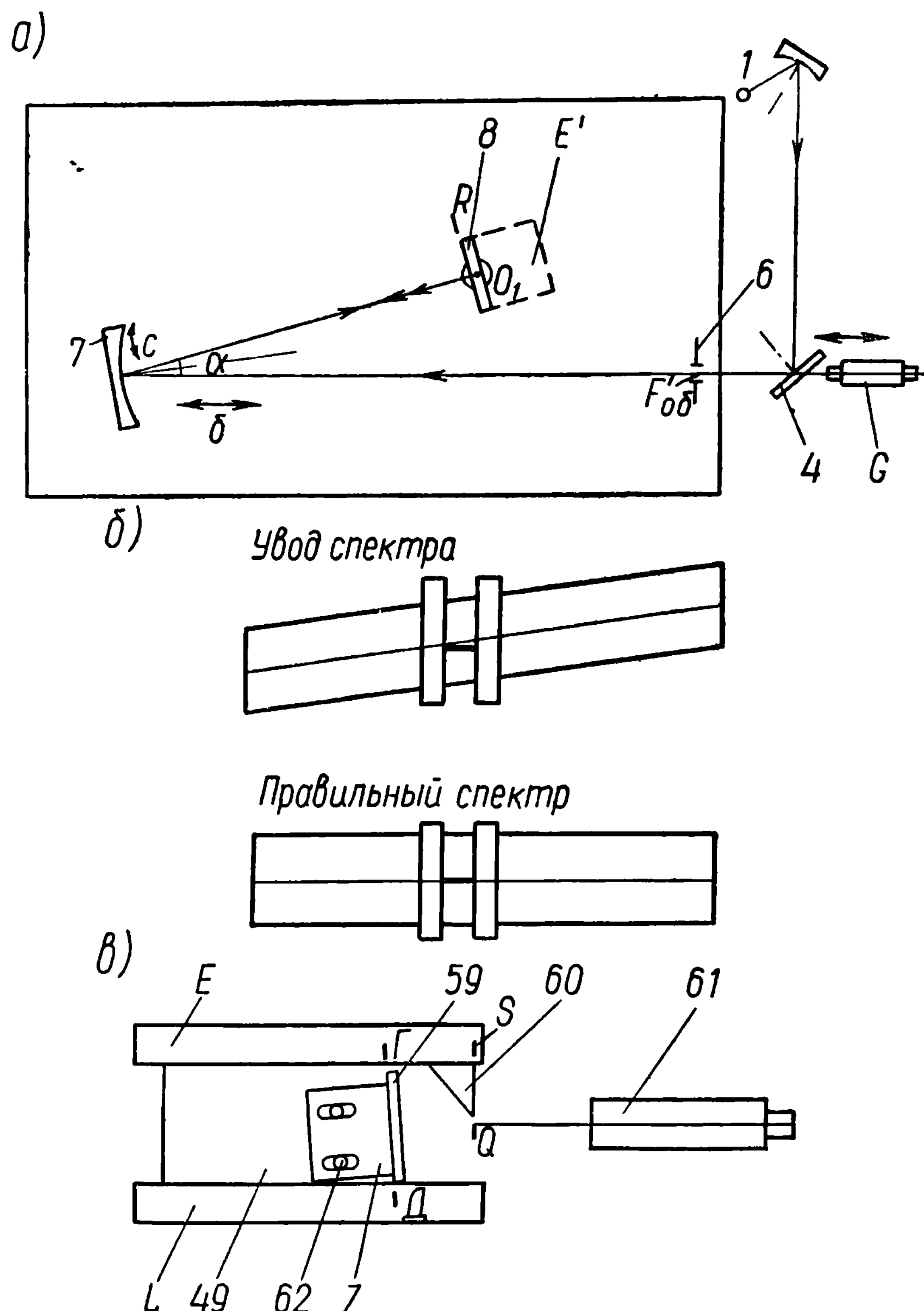


Рис. 177

вышеуказанным образом, после чего положение зеркала не должно меняться.

Установка реплики заключается в правильном ориентировании ее относительно координатных осей (рис. 168, *г*). Необходимо обеспечить: 1) совпадение плоскости штрихов реплики с осью O_1 ее вращения (рис. 174, *б*) и перпендикулярность ее горизонтальной базе; 2) параллельность штрихов реплики ножам щели.

Желательно вести установку реплики по спектру наиболее яркого порядка, т. е. чтобы при широко раскрытой щели и пол-

ном заполнении решетки светом от лампы на объектив *7* падал наиболее яркий порядок спектра при развороте реплики от механизма длин волн. Яркость порядка спектра хорошо видна на папиросной бумаге, помещенной вблизи решетки.

Для выполнения первой установки в центр реплики помещают нить и, вращая столик с репликой, наблюдают в зрительную трубу *G* (установленную вместо микроскопа) (рис. 177, *а*) изображение этой нити; при совмещении оси реплики с осью ее вращения изображение нити не будет смещаться относительно перекрестия трубы; если плоскость штрихов реплики не совпадет с осью O_1 ее вращения, то при повороте реплики может быть неполное ее заполнение светом, что можно устранить перемещением фланца *39* реплики относительно винтов *40* (рис. 174, *б*).

Непараллельность штрихов реплики ножам вертикально установленной щели приводит к у в о д у спектра по высоте (рис. 177, *б*). Контроль осуществляется путем просмотра всего спектра в плоскости решетки в пределах 1200 *ммк* (в области 800 ÷ 1200 *ммк* наблюдение ведется по спектру второго порядка). Наблюдение ведется в микроскоп *G*, который вновь устанавливается вместо зрительной трубы (рис. 177, *а*). Увод устраняется разворотом реплики относительно оси, перпендикулярной ее рабочей поверхности. Установка реплики не должна ухудшать качество изображения точки; в противном случае следует заменить реплику.

С о г л а с о в а н и е ш к а л ы *51* д л и н в о л н (рис. 173, *а* и *б*) с с а м и м с п е к т р о м. Эта юстировка является важной. Надо обеспечить, чтобы каждому делению шкалы *51* в поле зрения соответствовал определенный участок спектра на выходной щели. Юстировка выполняется регулировкой деталей *42*, *48*, *49* (рис. 173, *а* и 174, *б*), соединяющих реплику со шкалой *51*.

Прежде всего надо найти нулевое положение рычага *42*, при котором его ось, проходящая через точку O_1 (ось реплики) и центр *О* отверстия *И*, была нормальна направляющим *L* и *E* (см. рис. 174, *б*). Для этой цели выполняются некоторые предварительные юстировки. Вначале центр сферической поверхности упора *48* совмещается при помощи специального приспособления с центром *О* отверстия *И*. Плоскость *ГД* опорной площадки *Z* каретки *49* выставляется нормально направляющим *E*. Этого добиваются при помощи зеркала *59* и автоколлимационной трубки *61* (рис. 177, *в*). Зеркало *59* прижимается к плоскости *ГД* площадки. Ось трубки *61* должна быть параллельна направляющим *E* и *L*, что достигается призмой *60*, прижатой к направляющей *E*, причем отражающая грань *SQ* призмы должна быть нормальна направляющей. Установка площадки производится ее разворотом при помощи винтов *62* (рис. 174, *б* и 177, *в*). Точность установки грани *ГД* имеет порядок *1′*.

Определение «нулевого» положения рычага *42* выполняется следующим образом. В отверстие *И* рычага *42* (рис. 174, *б*) устанавливается юстировочное зеркало *I* (рис. 178, *а*). При помощи рычага *63* и пружины *64*, связывающей рычаг с направляющей *E*, ось зеркала *I* при повороте рычага *42* на углы γ_1 и γ_2 и перемещении каретки *49* (по стрелке *в*) обеспечивает неизменное положение зеркала *I*. Ось автоколлимационной

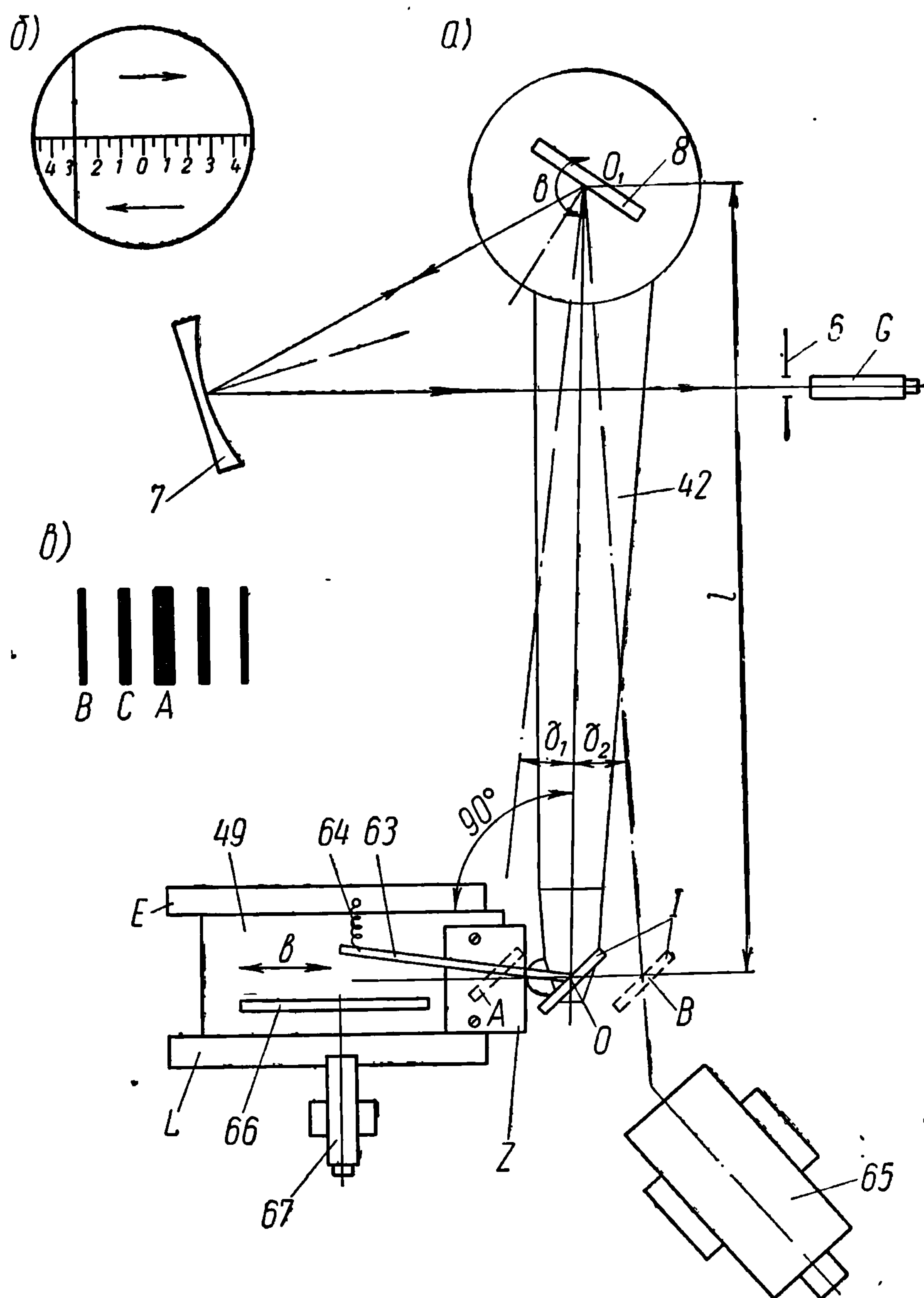


Рис. 178

трубки *65* выставляется нормально плоскости зеркала *I*; при этом трубка занимает такое положение, что при крайних положениях *A* и *B* зеркала, соответствующих повороту рычага *42* на углы 5÷7°, автоколлимационное изображение не выходит из поля зрения трубы.

На каретке *49* параллельно направляющим *E* и *L* устанавливается юстировочная шкала *66* длин волн, а нормально ей, примерно в средине, — микроскоп *67* с увеличением порядка 20÷30ˣ. Устанавливают рычаг *42* в левое крайнее положение (угол γ_1) и поворачивают его на заданные углы, перемещая

каретку *49* и зеркало *1* из положения *A* в положение *B* (рис. 178, *а*).

В процессе движения каретки автоколлимационное изображение в поле зрения трубки (рис. 178, *б*) также перемещается, меняя направление перемещения, при переходе рычагом *42* нулевого положения. При повороте рычага на угол $\gamma_1+\gamma_2$ автоколлимационное изображение, совмещенное с каким-то делением шкалы в поле зрения трубки в первом положении рычага, вновь совместится с ним, когда рычаг займет второе положение. Этим положениям автоколлимационного изображения соответствуют отсчеты h_1 и h_2, сделанные по шкале при помощи микроскопа. Тогда «нулевое» положение рычага *42* будет характеризоваться положением каретки *49*, при котором отсчет h_0 по шкале будет равен $\pm\frac{h_1-h_2}{2}$. Определение h_0 следует делать несколько раз.

Теперь при заданном «нулевом» положении рычага *42* необходимо поставить реплику *8* также в нулевое положение, при котором на выходную (нижнюю) щель *6* будет приведен спектр нулевого порядка. Наблюдение спектра ведется при помощи микроскопа *G*, сфокусированного на выходную щель *6* (рис. 178, *а*).

Приводя спектр на щель поворотом реплики (по стрелке *в*) несколько раз, следует проверить воспроизводимость отсчета по юстировочной шкале *66*, т. е. стабильность нулевого положения рычага и каретки, и только после этого закрепить реплику окончательно. Теперь остается поставить основную шкалу *51* длин волн (рис. 173, *а* и *б*) так, чтобы нулевой отсчет соответствовал положению нулевого спектра на выходной щели *6*; это достигается перемещением шкалы на стрелке *а* (рис. 173, *а*).

Необходимо также, чтобы изображение на экране *56* было достаточно резким, хорошо освещенным, увеличенным в нужном масштабе и без параллакса относительно отсчетного индекса *K* (рис. 176, *в*); это достигается юстировкой осветительной системы (детали *52*, *53*, *54* на рис. 173, *а*).

Установка шкалы *51* в нулевое положение не означает, что при повороте рычага *42* на угол 2γ положениям линий спектра в нижней щели будут соответствовать правильные отсчеты по шкале *51*. Это возможно только при определенной длине l рычага *42* (рис. 178, *а*), которую и надо подобрать.

Контрольными линиями спектра обычно служат следующие ртутные линии: зеленая линия (546,1 *ммк*) и синяя (435,8 *ммк*). Этим линиям по шкале *51* должны соответствовать отсчеты 1092,2 и 871,6.

Если отсчеты получились больше указанных, необходимо длину l уменьшить, а в противном случае — увеличить. Изменяя длину рычага, необходимо следить, чтобы нулевой штрих «0» изображения шкалы *51* на экране *56* не смещался и соответствовал нулевому порядку спектра на выходной щели.

Контроль качества изображения спектральных приборов

В основу контроля качества изображения спектральных приборов положена оценка их разрешающей способности, т. е. возможности раздельно видеть определенные линии какого-либо металла спектра либо на его фотографиях, либо визуально.

Контроль качества изображения приборов осуществляется по спектрограммам, которые рассматриваются на проекторах с увеличением порядка 20 крат. Спектральные линии хорошего спектра должны быть резкими, симметричными, без дополнительных линий или «спутников»; ширина линий должна соответствовать ширине входной щели спектрографа при увеличении прибора 1^{x}. Ширина спектральных линий контролируется по разрешению двух близлежащих линий примерно равной интенсивности, расстояние между которыми известно. Так, в приборе ИСП-30 разрешающая способность контролируется по триплету Fe $\lambda = 3100$ Å.

У приборов с репликами и решетками необходимо еще обращать внимание на интенсивность «духов Рауланда» *B* и *C* (рис. 178, *в*) первого и второго порядков, которые не должны превышать 0,2% от основной линии *A* во многих спектральных приборах. Духи Рауланда — это дополнительные линии близ каждой основной спектральной линии, расположенные симметрично относительно ее. Иногда встречаются так называемые духи Лаймана, расположенные далеко от основной линии.

Для прибора СФД-2 особенно важно отсутствие рассеянного света.

Глава X

ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ РАБОТ

§ 57. Организация технологии сборки приборов

Общие сведения

Сборочный процесс должен обеспечить выпуск прибора высокого качества при наименьшей себестоимости и наивысшей производительности.

Основным фактором, определяющим характер технологии сборочного процесса, является производственная программа сборочного цеха, т. е. количество приборов, выпускаемых в месяц. По этому признаку можно выделить следующие виды производства приборов: крупносерийное и массовое, мелкосерийное и серийное, индивидуальное.

По форме организации сборочного процесса различают поточную и стационарную сборки. Поточный метод сборки наиболее выгоден при массовом производстве, но рационален и при выпуске продукции небольшими сериями. Стационарная сборка применяется при индивидуальном, мелкосерийном и серийном производстве.

При заданной производственной программе исходными данными по разработке процесса сборки являются сборочные чертежи и чертежи деталей, технические условия на прибор и узлы, руководящие материалы по сборочному процессу, сведения по оборудованию, на котором проектируется процесс сборки.

Организация работ при механической сборке оптических приборов не отличается от условий работы цехов сборки точных неоптических приборов. Эти вопросы широко освещены в соответствующей литературе.

Особенностью окончательной сборки оптических приборов являются операции с оптическими деталями, требующие большей осторожности в работе, высокой чистоты рабочего места, одежды и рук рабочего. Необходимо хорошее освещение сборочного цеха и рабочего места. Освещенность на рабочем месте должна быть не менее 200 *лк*. В вечернюю и ночную смены желательно использование осветителей дневного света. Участок чистки оптики (см. подробно § 21) должен быть изолиро-

ван от сборочных участков. Промывочные материалы (спирт, эфир и пр.) должны храниться в особом помещении с соблюдением противопожарных правил.

Большое значение имеет точность работы контрольно-юстировочных приборов (коллиматоры, зрительные трубы и др.), применяемых в сборочном цехе. Они должны периодически проверяться в оптической лаборатории завода или непосредственно на рабочем месте сборочного цеха и при необходимости юстироваться.

Крупносерийное и массовое производство приборов

Такой вид производства применяется обычно для приборов невысокой и средней сложности, потребляемых в большом количестве, например бинокли или фотоаппараты.

Типовые черты сборочного процесса при массовом выпуске продукции наиболее ярко проявляются при поточной сборке и характеризуются в основном следующим. Конструкция прибора должна состоять из максимального числа простейших единичных узлов, сборка которых требует проведения минимального числа несложных операций; юстировочные операции и контрольно-юстировочные приборы должны быть весьма просты. Необходимая точность изготовления деталей обеспечивается в механических цехах благодаря специальным приспособлениям — оснастке (штампы, кондукторы и пр.), режущему и мерительному инструменту. Детали должны быть полностью взаимозаменяемы. Доделка деталей в сборке исключается.

Разрабатывается подробная технология сборочного процесса. На каждую операцию сборки предусматривается операционная карта, точно указывающая сущность операции контроля. Контроль проводится почти после каждой сборочной операции и осуществляется при помощи несложных приборов. Узлы и готовые приборы выпускаются равномерно через определенные равные промежутки времени, называемые тактом сборочного процесса. Каждый сборщик выполняет только одну операцию сборки, юстировки или контроля, длительность которой равна или кратна такту. Поэтому поточная сборка называется и операционной сборкой.

Собираемый прибор, начиная с некоторого узла, движется поступательно, последовательно и непрерывно без разборок и возвратных движений.

Длительность такта без учета регламентированных перерывов на отдых определяется временем

$$t = \frac{T}{N},$$

где T — время работы смены (например, 420 *мин*);

N — количество изделий, выпускаемых за смену.

Если время операции равно времени такта, то ее выполняет один рабочий; если время операции кратно такту, то несколько рабочих (в зависимости от числа кратности). Квалификация рабочего может быть невысокой.

Сборка ведется двумя способами: 1) со свободным движением изделия, которое перемещается в процессе сборки по верстаку вручную, или при помощи транспортных устройств; 2) с принудительным движением изделия, перемещаемого по конвейеру; сборка ведется непосредственно на конвейере.

В связи с тем, что сборка оптических приборов на движущейся ленте затруднительна, рабочий ведет сборку на верстаке, в котором вмонтирована движущаяся лента. Рабочий по выполнении операции ставит узел или деталь на соответствующее место ленты (конвейера).

Мелкосерийное и серийное производство

Небольшими сериями, порядка 15÷50 в месяц, собираются обычно точные и дорогостоящие приборы, потребность в которых невелика. Такие приборы весьма часто имеют сложные узлы, которые не могут быть разъединены на большое количество простейших узлов. Имеется много деталей высоких классов точности. Они обеспечиваются в механических цехах соответствующим оборудованием. Технология сборки разрабатывается достаточно подробно, особенно для сложных ответственных узлов (отсчетные механизмы, фокусировочные устройства, компенсаторы, системы переменного увеличения и пр.), влияющих на показатели работы прибора. Для ответственных узлов часто применяется подгонка деталей при сборке, например для обеспечения замыкающего размера в узле. Широко используется комплектовка деталей, например зубчатых колес, червячных зацеплений.

Как правило, предусматриваются юстировки отдельных узлов и всего прибора с применением различных компенсаторов — оптических клиньев, металлических шайб, шариков, роликов. Контрольно-юстировочные приборы довольно сложны и позволяют проводить контроль нескольких свойств узла или прибора.

Применяется стационарный метод сборки, при котором операции выполняются на рабочем месте, куда подаются детали и узлы. Сборку узлов выполняют одни рабочие, а окончательную сборку — другие. И та и другая сборки выполняются параллельно. Сборочный процесс называют *узловой сборкой*.

Индивидуальное производство

Небольшое количество приборов (например, 1÷3) изготовляется обычно по специальным заказам или когда осваиваются

опытные образцы приборов, предполагаемых в дальнейшем к серийному и массовому производству.

Приборы, спроектированные по специальным техническим условиям, часто являются уникальными. Они конструктивно очень сложны, требуют высокой точности изготовления деталей и их сборки. Сроки выпуска приборов бывают часто ограниченными. Технологию сборки в этом случае разрабатывать нецелесообразно, так как это займет много времени.

Правильнее проводить совместное подробное обсуждение сборочного процесса конструкторами прибора, технологами и сборщиками. Допустим большой объем работ по доделке деталей при сборке. Взаимозаменяемость деталей не требуется. Широко применяется регулировка деталей и узлов. Не следует заказывать специальной оснастки, инструмента и контрольных приборов, предназначаемых только для производства данных конструкций, так как это сильно удорожает продукцию. К этому следует прибегать только в исключительных случаях, для решения сборочных задач, когда имеющееся оборудование не позволяет обойтись им.

В сборочных цехах, где одиночное производство достаточно широко распространено, целесообразно иметь универсальное оборудование, позволяющее собирать приборы разнообразных конструкций.

Применяется стационарный метод сборки, выполняемый высококвалифицированными механиками, образующими бригаду, вследствие чего процесс называется *бригадной сборкой*. В процессе сборки и отладки опытных приборов выявляются недостатки конструкции в части действия прибора, определяются оптимальные материалы для деталей, уточняется их форма, устанавливается наивыгоднейшая технология сборки. В результате уточняются чертежи конструкции перед запуском в производство серии приборов и может быть разработана подробная технология сборки серийных образцов.

Коэффициентом трудоемкости φ сборочного процесса называется отношение трудоемкости сборочных работ $T_с$ к трудоемкости изготовления деталей $T_д$. Для массового крупносерийного производства $\varphi \approx 0,2 \div 0,3$; для серийного — $0,3 \div 0,8$; для индивидуального — до $0,8 \div 1,2$. Повышение φ объясняется увеличением объема доделочных работ или повторных разборок прибора.

§ 58. Технологическая документация сборочного процесса

Последовательность сборочных операций разрабатывается после выбора организационной формы сборочного процесса. Сначала на основании чертежей прибора составляется техно-

логическая схема сборки, графически изображающая процесс соединения деталей в узлы и узлов в готовый прибор. Далее разрабатываются операционные карты сборки и укрупненные карты сборочного процесса.

Технологическая схема дает наглядное представление о сборочном процессе и облегчает его планирование и определение производственного цикла.

Для стационарной (узловой и бригадной) сборок технологические схемы процесса имеют вид, представленный на рис. 179.

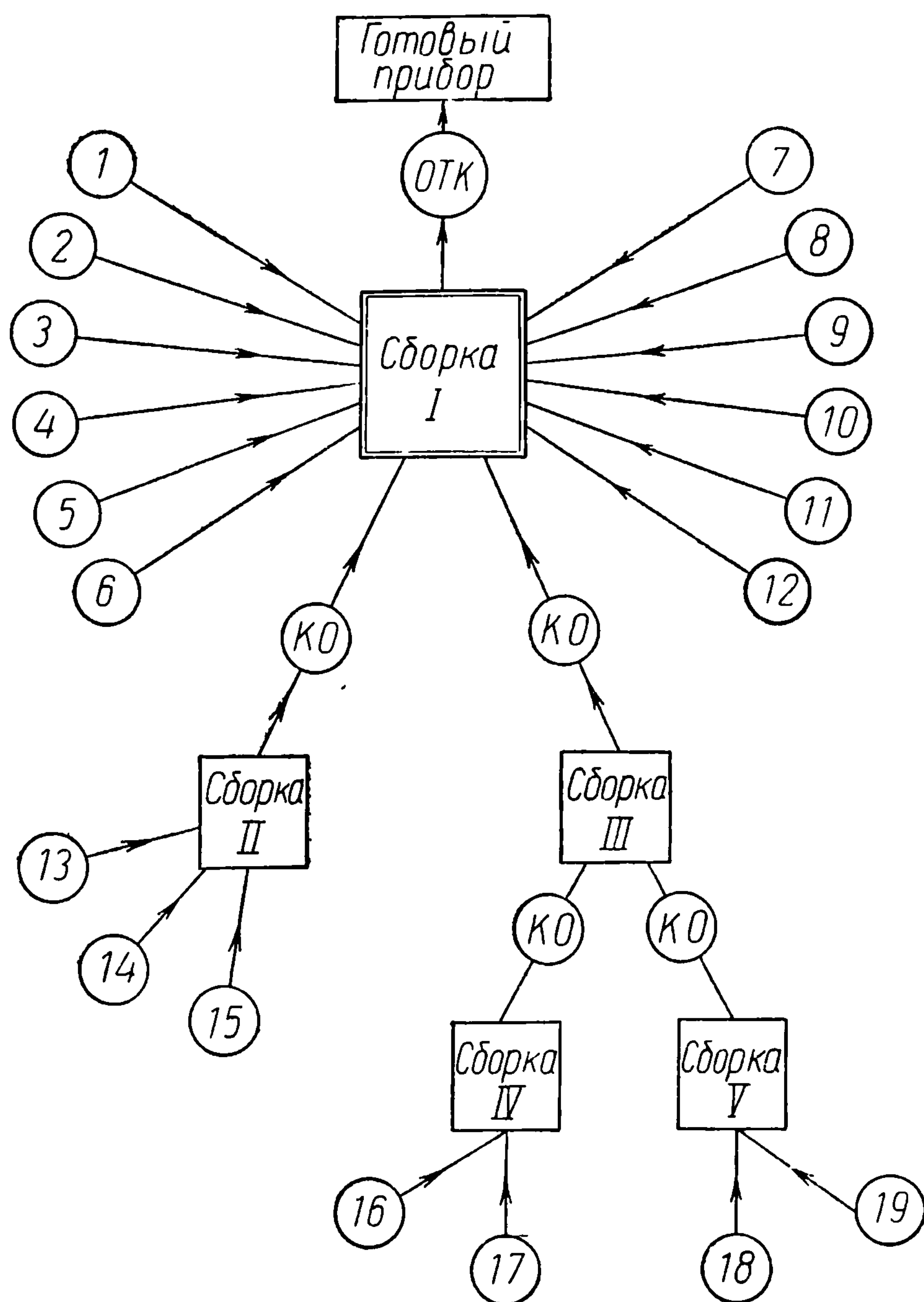


Рис. 179

В квадратах или прямоугольниках большого размера указываются узлы (их номера, иногда названия), в прямоугольниках малого размера (или кружках) — номера деталей.

Схемы показывают взаимную связь деталей и узлов прибора и контрольных операций (КО), но не определяют последовательности операций окончательной сборки прибора. Так, например, из схемы рис. 179 не видно, с какого же именно узла, III или II, начинается сборка I.

Для поточной сборки применяются схемы, показывающие главную линию сборочного процесса, которая точно определяет, на какую именно операцию окончательной сборки прибора поступает тот или иной узел или деталь.

На такой схеме (рис. 180) жирная линия со стрелкой показывает направление выполнения операций сборки прибора — окончательной или общей. Окончательная сборка в схеме для общей сборки обозначена Сб. I. К этому значению сборки добавлены номера операций окончательной сборки Оп. 1, Оп. 2 и т. д., идущие последовательно. К этим операциям направлены (стрелками) узлы (номера сборок даны в кружках) и детали

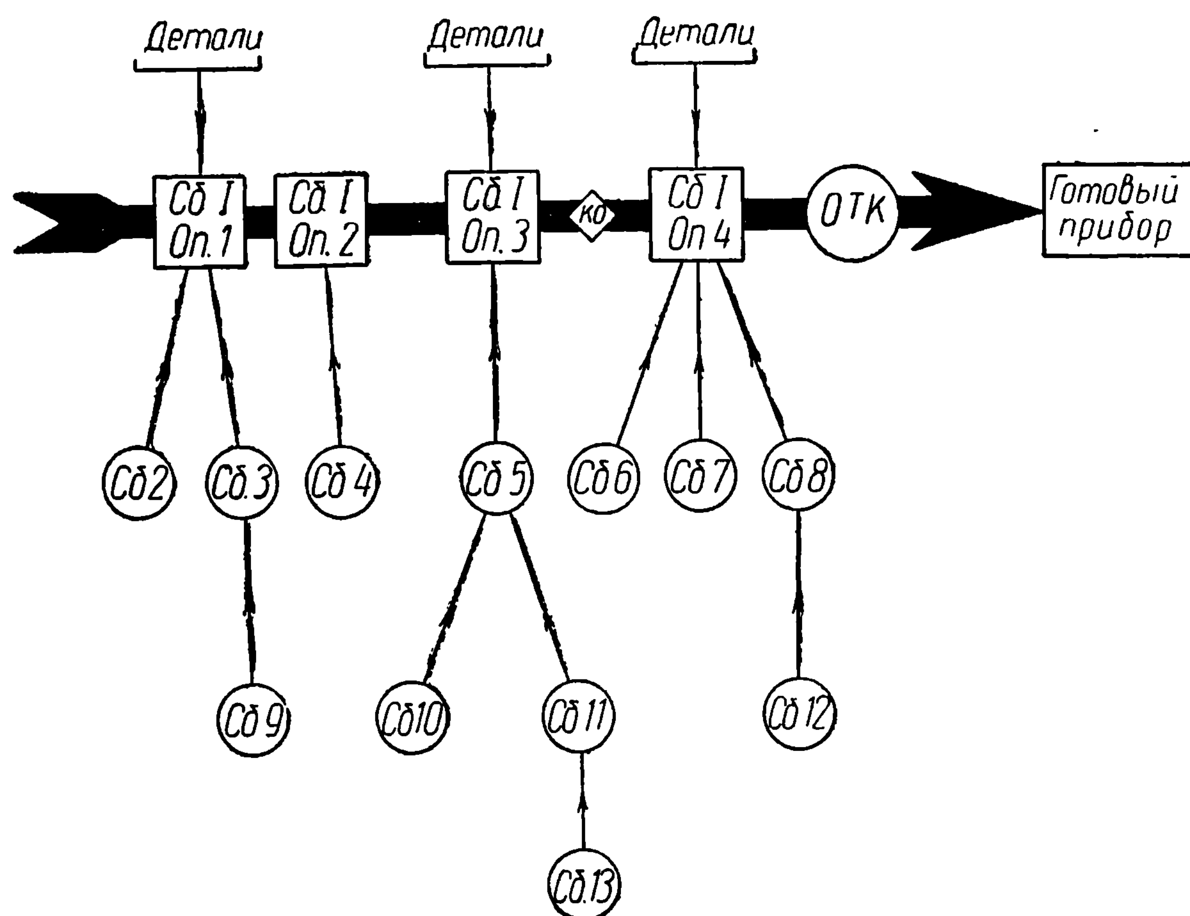


Рис. 180

(в незамкнутых прямоугольниках), которые должны подаваться на выполнение данной операции.

Контроль операций окончательной сборки отмечается в нужных местах квадратиком, в котором указано КО (контрольный отдел). Окончательный контроль собранного прибора проводится в отделе технического контроля (ОТК).

Операционная карта составляется для выполнения только одной операции; укрупненная карта — для нескольких операций.

Оформление указанных карт различно. В § 24 и 26 приведены примеры заполнения операционных карт на участках механической и окончательной сборки. Одна из применяющихся форм укрупненной карты сборочного процесса представлена табл. 11.

Таблица 11

Завод № Отд. главн. техн.	Укрупненная карта технологического процесса сборки	Цех №	Изделие	Сборка №	Наименование сборки]	Лист
Количество сборок на 1 изд.		Входит в сборку	Вес сборки			

№ операции	Детали сборки			Содержание операций	Оборудование и приспособления	Наименование и марка инструмента		Вспомогательный материал	Норма		
	Наименование	№ детали	Количество			режущий и вспогательный	мерительный		количество рабочих	разряд	штучное время

Изменения	№ извещения	Литер.	К-во	Дата	Подпись	№ извещения	Литер.	К-во	Дата	Подпись	Составил		Нормировал			Главный технолог
											Проверил		Проверил			
											Начальник тех. бюро		Нач. ТНБ			

Литература

1. Артамонов П. П. Юстировка оптических измерительных приборов. Оборонгиз, М., 1939.

2. Афанасьев В. А. Оптические измерения. Геодезиздат, М., 1961.

3. Бартенев А. Г. Коллиматоры и их применение. Изд. Ленинградского института Спецпромышленности, 1940.

4. Гришин Б. С. Юстировка геодезических приборов. Геодезиздат, М., 1956.

5. Захарьевский А. Н. Интерферометры. Оборонгиз, М., 1952.

6. Нагибина И. М. и Прокофьев В. К. Спектральные приборы и механика спектроскопии. Машгиз, М., 1963.

7. Погарев Г. В. К вопросу о юстировке угломерных приборов с качающимся головным зеркалом. Изд. ЛИТМО, вып. 19, 1956.

8. Погарев Г. В. Сборка и регулировка угломерных приборов. Изд. ЛИТМО, 1960.

9. Погарев Г. В. Расчет допусков на изготовление и сборку оптических деталей и узлов. «Справочник конструктора оптико-механических приборов» (разд. гл. X «Расчет приборов на точность»). Машгиз, М., 1963.

10. Пер А. Г. Производство оптико-механических приборов. Оборонгиз, М., 1959.

11. Скворцов Г. Е. О влиянии некоторых ошибок юстировки панорамических систем на точность измерения углов. Изд. ЛИТМО, вып. 19, 1956.

12. Шишловский А. А. Прикладная физическая оптика. Физматгиз, М., 1961.

13. Эрвайс А. В. Юстировка и ремонт оптико-механических измерительных приборов. Машгиз, М., 1958.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Введение 5

Глава I. **Сущность процессов сборки и юстировки оптических приборов**

§ 1. Назначение сборочного процесса и его основные этапы. Сборочные элементы приборов 7
§ 2. Связь технологии сборочного процесса с конструкцией приборов, технологией изготовления его деталей и контрольной аппаратурой 11

Глава II. **Зависимость основных свойств оптических приборов от точности изготовления деталей и точности сборки. Методы их контроля**

§ 3. Типы оптических приборов и их основные свойства 13
§ 4. Поперечное и видимое увеличения. Основные зависимости . . 15
§ 5. Поле зрения 25
§ 6. Зрачок выхода (его размер, форма, положение относительно последней поверхности окуляра и оптической оси системы, контрастность) 31
§ 7. Наклон изображения 34
§ 8. Разворот сетки 36
§ 9. Параллакс изображения объекта и визирной сетки . . . 37
§ 10. Центрировка оптической системы и положение ее визирной оси 56
§ 11. Увод визирной оси прибора 70
§ 12. Разрешающая сила и качество изображения 89
§ 13. Правильность установки диоптрийной шкалы окуляра . . 94
§ 14. Основные свойства бинокулярных приборов 96
§ 15. Светопропускание и светорассеяние оптической системы прибора; чистота поля зрения 108
§ 16. Правильность действия отсчетных механизмов 111
§ 17. Постоянство свойств прибора при воздействии на него различных факторов 113

Глава III. **Вспомогательные сборочные работы**

§ 18. Общие сведения 115
§ 19. Смазка механических деталей 115
§ 20. Промывка механических деталей 116
§ 21. Чистка оптических деталей 116
§ 22. Герметизация приборов 118

Глава IV. **Сборка и юстировка типовых узлов приборов**

§ 23. Основные задачи сборки узлов 121
§ 24. Механическая сборка узлов 121
§ 25. Виды операций оптической сборки узлов 131
§ 26. Сборка в оправах линз, линзовых блоков и сеток («круглая» оптика) 132
§ 27. Сборка объективов телескопических приборов 138
§ 28. Сборка окуляров телескопических приборов 141
§ 29. Сборка объектива с коллективом и линзовых оборачивающих систем 143
§ 30. Общие сведения о сборке микро-, фото- и кинообъективов . 145
§ 31. Комплектация объективов по плавкам стекол, толщинам линз и воздушным промежуткам между ними 149
§ 32. Сборка фото- и кинообъективов в свинчивающихся оправах . 156
§ 33. Сборка фото- и кинообъективов в насыпной оправе . . . 164
§ 34. Сборка зеркально-линзовых объективов 165
§ 35. Сборка объективов и окуляров микроскопов 168
§ 36. Контроль сборки фото-, кино- и микрообъективов 170
§ 37. Сборка зеркал и призм в оправах 176
§ 38. Сборка систем переменного увеличения 190
§ 39. Сборка осветительных систем 195

Глава V. **Сборка и юстировка коллиматоров и монокулярных телескопических труб**

§ 40. Коллиматоры 197
§ 41. Зрительные и автоколлимационные трубы без зеркал, призм и оборачивающих систем 203
§ 42. Трубы с фокусировкой на близкий предмет 206
§ 43. Трубы с линзовыми оборачивающими системами 213
§ 44. Трубы с неподвижными зеркалами и призмами 216
§ 45. Трубы с качающимися и вращающимися призмами . . . 223

Глава VI. **Сборка и юстировка монокулярных микроскопов**

§ 46. Школьный и биологический микроскопы 231
§ 47. Инструментальный микроскоп 235

Глава VII. **Сборка и юстировка бинокулярных приборов**

§ 48. Бинокли 243
§ 49. Бинокулярные микроскопы 248

Глава VIII. **Сборка фото-, киносъемочной и проекционной аппаратуры**

§ 50. Малоформатные фотоаппараты 254
§ 51. Киносъемочные аппараты 261
§ 52. Простейшие проекционные приборы 267

Глава IX. **Сборка и юстировка оптико-физических приборов**

§ 53. Поляризационные приборы 272
§ 54. Фотометрические и колориметрические приборы 276
§ 55. Интерференционные приборы 284
§ 56. Спектральные приборы 292

Глава X. **Организация сборочных работ**

§ 57. Организация технологии сборки приборов 315
§ 58. Технологическая документация сборочного процесса . . . 318
Литература 322

Анатолий Николаевич Бардин

СБОРКА И ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Редактор *В. А. Титова*
Техн. редактор *З. В. Нуждина*
Корректор *Г. И. Кострикова*

Т—15369. Сдано в набор 2/II—67 г. Подп. к печати 18/XII—67 г.
Формат 60×90[1]/[16]. Объем 20,5 печ. л. Уч.-изд. л. 18,43. Изд. № Стел—22.
Тираж 10.000 экз. Цена 75 коп.
Тематический план издательства «Высшая школа» (вузы и техникумы) на 1967 г. Позиция № 89
Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14,
Издательство «Высшая школа»

Издательство Московского университета
Москва, Ленинские горы, Административный корпус.
Типография Изд-ва МГУ, Москва, Ленинские горы. Зак. 427

ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ НА ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ЖУРНАЛ

«ВЕСТНИК ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ»

Единственный в Советском Союзе журнал, освещающий актуальные вопросы учебной, научной и воспитательной деятельности вузов — «Вестник высшей школы» — издается 26-й год. Журнал помещает на своих страницах интересные и разнообразные материалы, в которых обсуждаются, нередко в дискуссионной форме, проблемы улучшения подготовки молодых специалистов, перспективы развития высшего образования и вузовской науки. В журнале существуют постоянные разделы — «Учебный процесс», «На темы дня», «Наука в высшей школе», «Воспитывать активных строителей коммунизма», «Опыт и предложения», «За рубежом», «Критика и библиография» и др.

Наука и технический прогресс несут новое в лекции, в лабораторные занятия. На помощь приходят совершенные технические средства — кино, радио, телевидение.

Казалось, только вчера появился первый электронный экзаменатор Московского энергетического института. А сегодня больше 350 вузов применяют методы программированного обучения. Созданы обучающие комплексы на базе электронно-цифровых машин; появляются на библиотечных полках первые программированные учебники.

Обо всем этом из номера в номер рассказывает своим читателям ежемесячный журнал «Вестник высшей школы». На его страницах вы найдете статьи, репортажи и очерки, посвященные учебному процессу, организации научной и воспитательной работы в высшей школе. Ученые, преподаватели, партийные, комсомольские и профсоюзные работники выступают здесь со своими соображениями о путях развития высшего образования в стране, делятся опытом, спорят, размышляют, предлагают.

Специальный раздел журнала посвящен преподаванию общественных наук в высшей школе. Читатель может познакомиться в журнале с техническими новинками, с новыми учебными фильмами. Из раздела «Критика и библиография» он узнает о новых учебниках. Юридическая консультация журнала ответит на его вопросы. А в рубрике «За рубежом» он совершит вместе с авторами интересное путешествие в высшие учебные заведения многих стран. Постоянные корреспонденты журнала — друзья из высшей школы братских социалистических стран.

Если вы учитесь или преподаете в вузе, если вас интересует как учат сейчас и как будут завтра учить в высшей школе, почитайте журнал — вы наверняка найдете в нем немало полезного для себя.

Журнал выходит 12 раз в год.

Подписная цена на год — 6 руб.

В каталоге «Союзпечати» журнал значится под № 70117.

Подписка принимается без ограничения в пунктах подписки «Союзпечати», отделениях и узлах связи, почтамтах, а также общественными распространителями печати на предприятиях, в учебных заведениях и организациях.

В розничную продажу журнал не поступает.

681
Б-247

СБОРКА
И ЮСТИРОВКА
ОПТИЧЕСКИХ
ПРИБОРОВ

СБОРКА И ЮСТИРОВКА ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ